

**Universidad  
Autónoma  
Metropolitana**



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO  
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

## **CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDA DE PRODUCCIÓN EN SERIE DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO**

**Carla Figueroa Villamar**

Tesis para optar por el grado de Maestra en Diseño  
Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática

Miembros del Jurado:

Dr. Aníbal Figueroa Castrejón

*Director de tesis*

Dr. Gonzalo Bojórquez Morales

*Co-Director de tesis*

Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet

Mtra. Gloria María Castorena Espinosa

Mtra. Paola Bibiana Enciso Casallas

*Ciudad de México, Junio 2016*

***A mis padres***

*Alberto Figueroa y Andrea Villamar*

Por su gran apoyo en cada una de mis decisiones, su infinito cariño y amor incondicional  
Por ser un ejemplo a seguir y enseñarme que trabajando duro se puede lograr cualquier meta

***A mi hermana***

*Andrea Figueroa*

Por ser la mejor compañera de vida y por todos los momentos felices que hemos compartido

***A mis abuelos***

*Bertha Angulo, Francisco Figueroa † y Guadalupe Gutiérrez*

Por ser mi mayor ejemplo de fortaleza y sabiduría

***A mi familia***

Por ser parte de mi vida y siempre creer en mí

***A mis amigos***

Por formar parte de mi vida y permitirme formar parte de la suya

## AGRADECIMIENTOS

**Dr. Aníbal Figueroa Castrejón:** Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana y director de tesis; por su orientación en la realización de este trabajo y motivación durante los estudios de maestría.

**Dr. Gonzalo Bojórquez Morales:** Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California; por compartir sus conocimientos y orientar esta investigación.

**Universidad Autónoma Metropolitana:** por ser la casa de estudios y el apoyo económico para asistir al “30th International PLEA Conference”.

**Universidad Autónoma de Baja California:** A través de la Facultad de Arquitectura; por abrirme las puertas para realizar mi estancia de investigación.

**Dr. Victor Fuentes Freixanet:** Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana; por su disponibilidad, apoyo y asesorías durante toda la maestría.

**M. Arq. Israel Tovar Jiménez:** Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana; por su apoyo en la parte administrativa para la realización de este trabajo.

**A todos mis maestros:** por compartir sus conocimientos y siempre tener disposición para ayudarme.

**PROMEP:** Programa de mejoramiento del profesorado; por el apoyo económico durante todo el desarrollo de esta investigación.

**Viridiana Calderón y Marlem Ramírez:** amigas del alma; por su apoyo incondicional y formar parte de este trabajo.

**M. Arq. Abril Rueda:** compañera de maestría; por su apoyo personal y profesional en el desarrollo de este trabajo y todos los momentos compartidos durante la maestría.

**Arq. Ana Álzate:** compañera de especialidad; por su amistad y conocimientos compartidos el primer año de estudios de especialización.

**Tamine, Katia y Vanesa:** encuestadoras; por su excelente trabajo y disposición en la realización del trabajo de campo.

**A mis compañeros de maestría:** Guillermo, Francisco, Erick, Jaime, Luz, Verónica, Dulce, Anais, Daniel, Luis, Karen; por compartir dos años de experiencias.

**A todas las personas:** que colaboraron en el estudio y directa o indirectamente ayudaron a que esto fuera posible.

## RESUMEN

El confort térmico interior es una característica esencial que se debe considerar en la planeación y diseño de los espacios habitables. El objetivo de éste trabajo, es determinar los requerimientos de confort térmico en las viviendas de la Zona Metropolitana del Valle de México, así como las variables meteorológicas que afectan en la sensación térmica de los habitantes. De acuerdo al enfoque de adaptación, se desarrolló un estudio correlacional de los datos medidos en sitio: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de globo negro, humedad relativa y velocidad de viento, contra la percepción térmica de los habitantes. El análisis de datos se realizó con el método de Medias por Intervalo de Sensación Térmica y se realizó un análisis de magnitud por variable meteorológica. Se calcularon valores neutrales para cada variable medida, y se determinó que la que presenta mayor influencia en la percepción, es distinta en los periodos climáticos estudiados. Por lo que se concluyó que el confort térmico de los habitantes no solo depende de una variable, si no del comportamiento en conjunto y la magnitud de cada una de ellas.

## ABSTRACT

The indoor thermal comfort is an essential feature that should be considered in the planning and design of living spaces. The objective of this work is to determine the standards of thermal comfort in houses of Metropolitan Area of Mexico City, and meteorological variables that affect the thermal sensation of the inhabitants. According to the adaptive approach, a correlational study of meteorological variables measured on site (dry bulb temperature, wet bulb temperature, black globe temperature, relative humidity and wind speed) was developed with the perceived thermal sensation. Data analysis was performed using the method of average by interval of thermal sensation and magnitude analysis performed by weather variable. Neutral weather values for each measured variable were calculated and determined that the variable with the highest influence on the perceived thermal sensation is different in every studied climatic period. So it was concluded that the thermal comfort of the inhabitants not only depends on a variable, if not the overall behavior and magnitude of each.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional desmedido de las principales ciudades del país, ha generado problemáticas urbanas, con relación a la oferta y demanda de vivienda. Tan solo en los últimos diez años, se construyeron alrededor de medio millón de viviendas de bajo costo, en la Zona Metropolitana del Valle de México (zmvm). Lo cual, ha favorecido el desarrollo de nuevos desarrollos urbanos en la periferia de la ciudad, a expensas de altos costos de urbanización para dotar de infraestructura y equipamiento a la población; así como, de la pérdida de áreas naturales y suelos rurales productivos.

Los indicadores de oferta y demanda de vivienda en la zmvm, expuestos en la bitácora de vivienda de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, en el periodo 2002 – 2012, muestran que la tipología de vivienda con mayor demanda fue la popular de  $\pm 60.00 \text{ m}^2$  (interés social según la homologación de vivienda). Sin embargo, ésta misma tipología es la que presenta mayor rezago habitacional y abandono.

El fenómeno antes mencionado, representa una problemática importante a considerar para los desarrollos habitacionales futuros; así como de soluciones prácticas, para los ya existentes. Sin embargo, es importante conocer los factores que afectan a los individuos y causan el discomfort en las viviendas.

El concepto de confort va más allá de la ausencia de malestar físico o desacuerdo con el medio circundante; entendemos el confort térmico como la estrecha relación que hay entre los individuos y su entorno, implicando la interacción que éstos tengan con él, por lo que la percepción varía en cada uno de ellos. El conocer los requerimientos locales de confort térmico, ayuda a establecer criterios para el diseño y planeación de espacios arquitectónico.

El confort térmico de las edificaciones, comúnmente se ve comprometido en la tipología de construcción de viviendas popular, ya que los materiales empleados y el diseño, no siempre responden a las condiciones climáticas de la zona donde se emplaza el proyecto. Lo anterior, se observa en la aplicación de la misma tipología con mínimas variables y materiales comunes en todo el territorio nacional.

La zmvm cuenta con un clima templado subhúmedo, por lo que no es común encontrar sistemas de climatización artificial en vivienda popular. Lo anterior determino el enfoque de la investigación. Ya que debe considerarse al ser humano como un ente activo y participativo para lograr la sensación de confort, a través de acciones conductuales y termorregulación.

El presente trabajo consta de seis capítulos y tres anexos. En el primer capítulo se expone el planteamiento del problema y la justificación, posteriormente se presentan las preguntas de investigación, la hipótesis y los objetivos, así como los alcances y limitaciones del trabajo.

En el segundo capítulo se presentan los antecedentes importantes a considerar en la investigación y se definieron los casos análogos, con base en las similitudes con el caso de estudio o con la metodología. En el tercer capítulo se expone el marco teórico, el cual se divide en cinco apartados: En el primer apartado se muestra el crecimiento de la znmv y la situación actual de la vivienda de producción en serie. En el segundo apartado se muestran los climas y bioclimas predominantes en la zona. En los apartados tres y cuatro, se habla del confort térmico, de los factores que interactúan en la percepción del ser humano y de los enfoques de estudio para su evaluación. Por último, en el apartado cinco se hace una revisión a las normas de confort térmico que establecen consideraciones importantes para el presente estudio.

En el capítulo cuarto, se explica la metodología aplicada para el trabajo de campo, la cual se basó en el estudio correlacional que propone el enfoque de adaptación, y se compone de cinco principales etapas: Características de la investigación, que incluye el enfoque de estudio, diseño de investigación y las variables e instrumentos a utilizar; análisis de sitio, que considera un análisis urbano y climático del caso de estudio; estudio correlacional, que considera el diseño de la encuesta y las condicionantes del trabajo de campo; y análisis de datos, donde se explican los métodos estadísticos de análisis.

El quinto capítulo expone los resultados obtenidos del trabajo de campo y analizados estadísticamente con el método de medias por intervalos de sensación térmica y del efecto de sensación térmica

Finalmente en el último capítulo, se presentan las conclusiones de la investigación, divididas por: conclusiones y recomendaciones a la metodología aplicada, de los resultados obtenidos y generales.

# **1 PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

En este capítulo se hace un planteamiento general de la investigación, donde se define la problemática e importancia del estudio, así como la justificación que demuestra la validez del mismo. La hipótesis está planteada en relación a las preguntas de investigación; a las cuales se les dará respuesta al cumplir con los objetivos específicos. Es importante conocer los alcances y límites del proyecto para establecer metas de trabajo lógicas de acuerdo a las limitantes técnicas y económicas de la investigación.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

El proveer de vivienda a la población de los centros urbanos más poblados del país, es un tema de discusión desde inicios del siglo XXI, ya que el incremento en la población ha hecho que la demanda incremente exponencialmente; lo cual ha orillado a buscar soluciones masivas y de bajo costo tanto en la urbanización como en el precio de venta.

El Programa Nacional de Vivienda 2007-2012: “Hacia un desarrollo habitacional sustentable”, establece cuatro ejes: 1) Cobertura: Incrementar la cobertura de financiamientos de vivienda ofrecidos a la población, particularmente para las familias de menores ingresos; 2) Calidad y sustentabilidad: Impulsar un desarrollo habitacional sustentable; 3) Integridad sectorial: Vivienda, a través de mejoras a la gestión pública; 4) Apoyos gubernamentales: Consolidar una política pública de apoyos del Gobierno Federal que facilite a la población de menores ingresos acceder al financiamiento de vivienda, y que fomente el desarrollo habitacional sustentable.

El segundo eje “calidad y sustentabilidad” plantea estrategias de construcción de desarrollos habitacionales sustentables; apoyar el mantenimiento, mejoramiento y ampliación de la vivienda existente, e impulsar la disponibilidad de suelo apto para el desarrollo habitacional sustentable. Entre las líneas de acción sobresale la propuesta de verticalidad y re densificación de los centros urbanos, para contener el crecimiento de la mancha urbana y el diseñar prototipos de planes maestros para modelos emblemáticos.

El Programa Nacional de Vivienda 2014- 2018 conserva los ejes y objetivos planteados anteriormente, a los cuales adiciona: Profundizar en el análisis del fenómeno de vivienda deshabitada y abandonada para identificar estrategias que contribuyan a revertirlo; incentivar la construcción de vivienda social en los centros urbanos existentes para mitigar la segregación espacial en las ciudades; abatir el hacinamiento procurando que la vivienda financiada por los organismos públicos de vivienda cuente con al menos dos recámaras; fomentar la incorporación de materiales de construcción de calidad en viviendas nuevas, autoproducción, mejoramientos y ampliaciones; desarrollar, en coordinación con SEMARNAT y CONUE, lineamientos que garanticen viviendas, procesos y materiales de construcción sustentables y de calidad.

Las líneas de acción antes mencionadas, son el reflejo del incumplimiento de los objetivos planteados en el sexenio anterior, durante el cual, los desarrollos habitacionales fueron construidos en extensos terrenos rurales de las zonas conurbadas, bajo un alto costo de urbanización; por lo que las desarrolladoras redujeron los costos de construcción y con ello la calidad de las viviendas a ofertar.



**Figura 1** Imagen urbana del Municipio de Tecamac

*Fuente: INFONAVIT*

La **Figura 1** se observa el crecimiento horizontal de uno de los municipios con mayor número de viviendas unifamiliares construidas en la Zona Metropolitana del Valle de México (zmvm).

La propuesta de diseñar prototipos de planes maestros urbanos para la creación de modelos emblemáticos, generó la aplicación de una misma tipología de construcción en todo el país, sin importar las condiciones climáticas, los recursos naturales o materiales disponibles, ni las necesidades de los habitantes de cada región. Lo cual propicia el abandono, deterioro y hacinamiento de los desarrollos, al generar falta de identidad y deficiente comportamiento de la vivienda en conjunto con el emplazamiento.



Las condiciones climáticas de la zmvm favorecen la aplicación de estrategias pasivas en las edificaciones para propiciar condiciones favorables al interior, sin embargo el deficiente comportamiento térmico de los materiales comúnmente utilizados en los desarrollos de vivienda de producción en serie, aumentan la necesidad de uso de sistemas de climatización artificial la mayor parte del año; lo cual repercute directamente a la económica de los usuarios, ya que la tarifa de energía para la zona centro (1) no cuenta con subsidio, y el costo por kWh es el mismo para los 6 bimestres: \$0.809 por los primeros 75 kWh, con un incremento del 21% por los siguientes 65 y un 353% para el excedente, sin rebasar los 250 kWh/mes (CFE).

México ha adoptado modelos internacionales para el diseño y desarrollo de edificaciones, lo cual compromete el desempeño térmico de los espacios, y con ello el bienestar de los habitantes; ya que éstos, son desarrollados para climas extremosos, en los cuales, es común encontrar climatización artificial en las viviendas. La evaluación del confort térmico en interiores acondicionados mecánicamente, difiere en metodología y resultados, que los naturalmente ventilados.

El enfoque predictivo es comúnmente utilizado en espacios acondicionados mecánicamente; estudia al confort térmico como proceso físico, sin tomar en cuenta las acciones que el ser humano puede desarrollar tanto físicas como mentales para lograr sentirse en armonía con su entorno. El enfoque de adaptación tiene su campo de aplicación en los espacios naturalmente ventilados, ya que replantea la temperatura preferida por los usuarios con base capacidad de adaptación.

El realizar estudios de confort térmico en espacios naturalmente climatizados, permite conocer la temperatura preferida por los habitantes; así como determinar las variables interiores que afectan la percepción térmica, para generar estrategias y herramientas de diseño, que faciliten el desarrollo de modelos de vivienda acorde al clima.

## 1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las preguntas de investigación son el punto de partida de este trabajo y orientan la hipótesis planteada.

- ¿Cuál es la variable meteorológica con mayor afectación en la percepción térmica en los habitantes?
- ¿Las variables meteorológicas que afectan la percepción térmica, varían por periodo estacional a lo largo del año?
- ¿Cuál es la temperatura local de confort para las viviendas de construcción en serie en la zmvm?

- ¿Las temperaturas de referencia propuestos en normas mexicanas son los adecuados para el clima específico de la zmvm?

### 1.3 HIPÓTESIS

La sensación térmica que experimentan las personas al interior de una vivienda en el clima templado de la zona metropolitana del valle de México, no solo depende de la temperatura, sino del conjunto de variables meteorológicas y su magnitud.

### 1.4 OBJETIVO

Establecer parámetros de confort térmico para la vivienda de producción en serie de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Objetivos específicos

- Determinar la variable meteorológica con mayor efecto en la percepción térmica de los habitantes.
- Analizar la sensación térmica percibida por variable meteorológica.
- Definir periodos estacionales de estudio y analizar la sensación térmica percibida en cada uno de ellos.
- Establecer la temperatura de confort interior para los usuarios de las viviendas en la zmvm.

### 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Los **alcances** del presente trabajo los delimita el análisis de confort térmico bajo en enfoque adaptativo, por medio del estudio correlacional de variables, para el caso específico del clima templado de la zmvm.

Para definir el caso de estudio de la presente investigación, se incluyó el diagnostico de crecimiento urbano de la zona; los periodos climáticos estudiados se definieron por el análisis de los datos obtenido en las estaciones meteorológicas normalizadas, aplicando el modelo *Adaptive Comfort Model in ASHRAE Standard 55-2010*, para establecer la temperatura y rangos de confort de frío y calor.

El trabajo de campo consistió en la aplicación de un cuestionario de sensación térmica basado en la normativa internacional para estudios de confort térmico, y la medición de las variables meteorológicas que según la literatura estudiada, afectan la percepción térmica. Lo anterior, permitió determinar la que tiene mayor representatividad en cada periodo de estudio, a través de la correlación lineal con el voto de confort de los habitantes, lo cual permitiría la comprobación de la hipótesis planteada.

Las **limitaciones** del presente trabajo están en función con el tiempo destinado para su realización, las complicaciones técnicas y el costo del trabajo de campo.

Los municipios de la zmvm a analizar, debían cumplir con las condiciones climatológicas y urbanas necesarias para el estudio, así como garantizar la seguridad del personal e instrumentos a utilizar durante el trabajo de campo.

Los instrumentos de medición se seleccionaron por disponibilidad y accesibilidad; en este caso, disponibilidad se refiere a la facilidad de préstamo por parte de la Universidad Autónoma Metropolitana; y accesibilidad, a la posibilidad económica para adquirirlos, siempre y cuando la Institución no contara con ellos. Para la selección, se consideró la normatividad existente para estudios de este tipo.

## 1.6 METAS

Las metas del presente trabajo se plantean a continuación:

- Realizar un diagnóstico bioclimático de las condiciones climáticas de la zmvm, para definir los periodos de estudio.
- Hacer el diseño de la encuesta tomando en cuenta la normativa existente y aplicarla a una población representativa para que el estudio tenga validez.
- Analizar los datos obtenidos del trabajo de campo por correlación lineal simple.

## 2 ANTECEDENTES

Este capítulo se divide dos apartados: estado del arte, en el que se exponen los trabajos más recientes de confort térmico en edificaciones; y se presentan los casos análogos, para lo cual se seleccionaron tres trabajos de investigación, por las aportaciones en cuanto a metodología y resultados obtenidos.

### 2.1 ESTADO DEL ARTE

Los trabajos consultados para la realización de éste apartado son diversos, sin embargo, a continuación se enuncian los que se considera pueden hacer aportaciones relevantes a la investigación, así como aquellos que presentan características similares en lo que corresponde al clima, tipos de edificaciones, o metodología de aplicación.

La investigación se centra en los trabajos que estudian el confort térmico por medio del enfoque adaptativo. En la siguiente tabla de muestra el año de realización, país, el autor o autores, la metodología y la relevancia para la investigación.

<b>Tabla 1</b> Revisión bibliográfica				
INVESTIGACIÓN	PAÍS	AUTORES, AÑO	METODOLOGÍA	RELEVANCIA
En la medición de la temperatura radiante media y su influir en la valoración ambiente térmico interior	Italia	d'Ambrosio, et al., 2013	Experimental	Cuestionamiento de la norma ISO 7726, en la medición de la temperatura radiante media en estudios de confort térmico interior
Temperaturas de Confort al Interior de viviendas de bajo costo	México	Gómez Azpeitia, et al., 2009	Experimental	Obtención de las temperatura de confort en viviendas de bajo costo en climas cálidos secos y húmedos de México, por enfoque adaptativo
Trabajo de campo sobre el confort térmico en edificios residenciales en el ecuatorial clima cálido-húmedo de Malasia	Malasia	Djamila, et al., 2013	Experimental, teórico	Obtención de la temperatura de confort para viviendas naturalmente ventiladas en clima cálido húmedo, aplicación de enfoque adaptativo y comparación de resultados con otros trabajos de campo en climas similares

Efecto de la edad, género y grupo económico en el confort térmico: Trabajo de campo en edificios residenciales en clima cálido húmedo con variaciones estacionales	India	Indraganti & Daryani Rao, 2010	Experimental	Cuestionamiento de factores sociales en la percepción y preferencia térmica de los habitantes
Aplicación de modelo adaptativo de confort térmico para la obtención de la temperatura neutral interior: Resultados del trabajo de campo en Hyderabad, India	India	Indraganti, 2010	Experimental	Obtención de la temperatura neutral interior en viviendas, por enfoque adaptativo, en temporada de transición
Investigación de campo sobre temperatura de confort y modelo adaptativo en casas japonesas	Japón	Rijal, 2013	Experimental	Obtención de temperatura de confort por enfoque adaptativo, aplicando método de Griffiths, durante el periodo de transición para un clima húmedo
Confort térmico para viviendas naturalmente ventiladas en Harbin	China	Wang, et al., 2010	Experimental	Consideración de factores de adaptación para el estudio de confort térmico en viviendas naturalmente ventiladas en clima frío
Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno	Chile	Molina & Veas, 2012	Cuasi experimental	Aplicación de PMV y PPD, y comparación de los índices calculados con las condiciones neutrales que proponen las normas ISO7730 y ASHRAE55, en clima frío
Modelo Adaptativo de confort térmico y conservación de la energía en un ambiente construido	--	de Dear & Brager, 2001	Experimental	Estandarización del protocolo de recolección de datos para trabajos de campo, comprobación de hipótesis de que la temperatura preferida por los habitantes es dependiente de la temperatura del aire exterior

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.2 CASOS ANÁLOGOS

En este apartado se presentan tres proyectos con las características siguientes: nombre del proyecto, localización, metodología y aportaciones. Para su selección se consideró importante que presentaran algunas similitudes con el caso de estudio o con la metodología, y aunque se realizaron en diferentes tipos de clima, éstos analizaron parámetros afines con el presente trabajo de investigación.

### *1) Confort térmico en edificios residenciales naturalmente ventilados en Harbin, China*

Este estudio, fue desarrollado por Wang Zhaojun (2010) durante el verano de 2009 (a partir de julio 23 a septiembre 14, 2009), en edificios de vivienda naturalmente ventiladas, durante la temporada de verano para el clima frío húmedo de la región de Harbin, China.

Durante el periodo de la encuesta, las ventanas se encontraban abiertas y las condiciones térmicas interiores eran controladas por la estrategia de ventilación natural. En los estándares de construcción china, el límite máximo confort para el verano en edificios con aire acondicionado es de 26 °C. Este estudio aborda las temperaturas interiores máximas permitidas, para fomentar en los ocupantes el enfriamiento pasivo, para lograr el confort térmico en las edificaciones.

Esta investigación estableció como objetivo, desarrollar una base de datos de los ambientes térmicos y las respuestas subjetivas de los residentes en los edificios de viviendas existentes en un clima fresco y húmedo, para conocer las condiciones térmicas en los edificios de viviendas con ventilación natural, determinar tanto la temperatura neutra y el rango aceptable de las condiciones térmicas, investigar la influencia de la humedad relativa y velocidad del aire en la percepción térmica y conocer la aclimatación fisiológica y adaptación conductual en los habitantes.

Durante el trabajo de campo se encuestaron 423 habitantes de 257 hogares en seis comunidades residenciales (34 edificios). Para la selección de la muestra, se consideraron factores espaciales como: microclima fuera del edificio, niveles de apartamentos, tipo plantas y áreas, orientación las ventanas y edad de los edificios; y en cuanto a los sujetos se consideró: las condiciones de vida, educación de los ocupantes, así como el género y la edad.

Se midieron las siguientes variables meteorológicas: temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del aire, simultáneamente a la aplicación de cuestionarios subjetivos de percepción térmica. Los cuestionarios se dividieron en ocho partes: 1) Antecedente del encuestado, 2) Arropamiento y actividad, 3) Sensación térmica, de humedad y velocidad de viento, 4) Satisfacción con las condiciones térmicas dadas, 5) Preferencia térmica, de humedad y velocidad de viento, 6) Adaptación conductual, 7) Síntomas de discomfort, y 8) Aceptabilidad del ambiente interior.

El método de análisis de datos, fue de tipo correlación, y se aplicó para las tres variables meteorológicas medidas. La temperatura neutral para el verano en Harbin es de 23.7 °C, la cual es inferior a estudios de campo, anteriormente realizados. Por otro lado, el aislamiento de la ropa para los ocupantes de Harbin fue de 0.54 clo, lo cual es superior a la encontrada en diferentes estudio por Feriadi y Wong 0.27 clo, y de Dear y Auliciems 0.44 clo.

El 80% de los ocupantes puede aceptar un rango de temperatura de aire entre los 21.5 y 31.0 °C, que es 1.0 - 1.5 °C más amplio que los límites de temperatura de confort de verano por el modelo adaptativo. El intervalo de temperatura preferido cayó entre 24.0 y 28.0 °C. El 57.9% de los sujetos votó "ningún cambio" con respecto a la humedad relativa de 40% y 70%. El 61.5% de los ocupantes votó "ningún cambio" con la velocidad del aire en el rango de 0.05 - 0.30 m/s. En verano, los ocupantes prefieren velocidad de viento menor que 0.25 m/s, incluso a mayor temperatura interior.

## *2) Investigación de Campo sobre temperatura confort y modelo adaptativo en casas japonesas*

Fue desarrollado por Bahadur Rijal (2013), el cual tenía como objetivo conocer la temperatura neutral y rangos de confort térmico durante el periodo cálido, del clima templado de la región Kanto, Japón. Realizó una comparativa entre el método de correlación y el método de Griffiths. Los resultados demostraron que la temperatura neutral calculada con éste último se encuentra en el rango permisible por la normatividad de CEN (Comité Europeo de Normalización).

Se midieron, temperatura del aire interior, temperatura de globo y humedad relativa en la sala de estar de las viviendas evaluadas. Se encuestaron a 25 hombres y 27 mujeres, en el periodo de 25 de julio a 17 de septiembre del 2012, obteniendo un total de 3991 votos.

El diseño de la encuesta incluyó la escala subjetiva de siete puntos para sensación térmica que propone ASHRAE. La recolección de datos se dividió en dos grupos: Espacios naturalmente ventilados y espacios acondicionados mecánicamente.

La información obtenida fue analizada con dos diferentes métodos correlacionales: el primero fue regresión lineal simple y el segundo fue el método desarrollado por Griffiths. Siendo este último el que mostro resultado más apegados a las normas del CEN.

Los resultados muestran que las personas están adaptadas a las condiciones térmicas de sus viviendas. La temperatura de confort resultante de este estudio es de  $27.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.8$  para viviendas naturalmente ventiladas en verano.

Se concluyó que la temperatura y rangos de confort están dentro de la zona aceptable por el CEN, y que los habitantes muestran conductas adaptativas ante temperaturas calurosas y acciones como abrir ventanas y puertas para ventilar naturalmente los espacios.

### *3) Temperaturas de confort interiores para viviendas de bajo costo*

Este trabajo de investigación fue realizado a partir de la colaboración de siete universidades mexicanas: La Universidad Autónoma de Baja California, Chiapas, Yucatán, Baja California Sur y Sinaloa, y la Universidad de Colima y Sonora (Gómez Azpeitia, y otros, 2009).

Se realizó acorde al enfoque de adaptación, a través del cual se estimó la temperatura neutral y rangos de confort térmico para climas cálidos secos y húmedos, a través del método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST).

El trabajo de campo se llevó a cabo en viviendas de bajo costo paralelamente en seis ciudades mexicanas, durante el periodo agosto 2006 a mayo 2007. En todos los casos, fueron espacios naturalmente ventilados. La encuesta se aplicó a sujetos mayores de 12 años, y se diseñó acorde a lo propuesto en ISO 10551 e ISO 7730; el cuestionario de sensación térmica se basó en ASHRAE55.

Simultaneo a la aplicación de encuestas de percepción térmica, se midieron las variables: temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo húmedo (TBH), temperatura de globo negro (TGN), humedad relativa (HR) y velocidad de viento (VV). El registro de los datos se realizó con equipo que cumple con la clasificación I de ISO 7726. Los períodos de medición se determinaron de acuerdo a las características climáticas de cada ciudad. (Ver **Tabla 2**).

El análisis de datos recogidos en campo, se realizó con el método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST), desarrollado por Gómez Azpeitia, et al., (2007), basado en la propuesta de Nicol para climas asimétricos, el cual usa la estadística descriptiva para determinar la temperatura neutra ( $T_n$ ).



<b>Tabla 2</b> Periodos de estudio por ciudad y clima			
CLIMA	CIUDAD	TEMPORADA	MESES
Cálido Sub-húmedo	Culiacán	Cálido seco	Marzo
	Colima	Cálido seco	Abril, mayo
		Cálido húmedo	Septiembre, octubre
		Templado	Enero, febrero
Cálido húmedo	Mérida	Cálido húmedo	Mayo, julio
		Templado	Enero, febrero
Cálido seco	La Paz	Templado	Marzo, abril
	Mexicali	Transición	Septiembre, octubre
		Cálido seco	Julio, agosto
		Templado	Enero, febrero
	Hermosillo	Cálido seco	Agosto, septiembre
		Templado	Febrero, abril

*Fuente: (Gómez Azpeitia, y otros, 2009)*

Los resultados demuestran que, los valores de temperatura neutral resultantes de la aplicación del MIST, son más altos que los valores resultantes de la aplicación de varias fórmulas convencionales propuestas por otros autores. Tan solo en la temporada de calor, la temperatura de confort en promedio es de 30 °C.

También revelan la importancia de contar con estándares de confort térmico específicos para cada lugar, y que éstos deben de ser definidos a través de la respuesta directa de los individuos, en el entorno en el que realizan sus actividades diarias.

### 3 MARCO TEÓRICO

Este capítulo se dividió en cinco apartados: 1) Ciudad y Vivienda; 2) Clima; 3) Confort térmico; 4) Percepción térmica; 5) Normativa. En el primer apartado se exponen el crecimiento de la ZMVM y la situación actual de la vivienda de producción en serie. En el segundo apartado se muestran los climas y bioclimas predominantes de la zona. En los apartados tres y cuatro, se habla del confort térmico, de los factores que interactúan en la percepción del ser humano y de los enfoques de estudio para su evaluación. Por último, en el apartado cinco se hacen una revisión a las normas de confort térmico que establecen consideraciones importantes para el presente estudio.

#### 3.1 CIUDAD Y VIVIENDA

Según la Real Academia Española (RAE), *ciudad* se refiere al conjunto de edificios y calles, regidos por un ayuntamiento, cuya población densa y numerosa se dedica por lo común a actividades no agrícolas. El origen de las ciudades se remonta a la época de la antigua Mesopotamia, en donde ésta se describe, como una clase de alta organización comunal. A lo largo de la historia, la estructura organizacional de las ciudades ha cambiado, sin embargo, los historiadores conciben en describirla como centros de concentración poblacional con actividades comerciales.

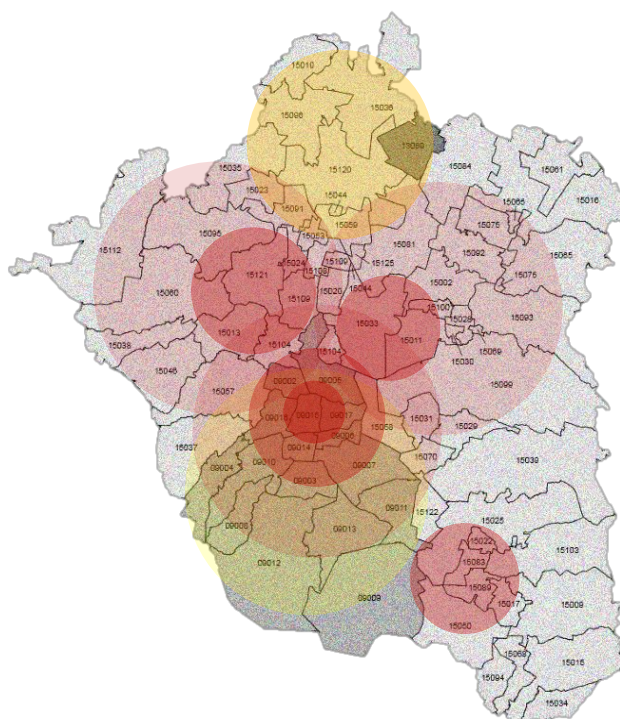
Durante la revolución industrial, los centros urbanos crecieron rápidamente, debido a la oferta de trabajo y promesa de mejor calidad de vida, y para finales del siglo XX las ciudades concentraban casi a la mitad de la población mundial. A este fenómeno se le denomina urbanización; sin embargo, existe otro fenómeno denominado suburbanización, que refiere a la migración de la población habitante de la ciudad, a su periferia.

Según el censo de 1990, el 71% de la población que llegó a habitar la ZMVM en los últimos cinco años, provino del Distrito Federal (Pradilla, 2000).

De acuerdo con Pradilla (2000) menciona que el escenario ideal, es una ciudad compacta, con centros discontinuos de la zona urbana actual, separados por áreas ecológicas protegidas, con variadas mezclas de usos de suelo, de forma tal que los lugares donde se habita, trabaja, educa, etc. se encuentran cercanas entre sí, donde se preserven los espacios naturales y productivos valiosos; mientras que el gasto de energía y los costos de infraestructura y servicios, se reducen por la densificación del hábitat.

La alta oferta inmobiliaria de vivienda en la zmvm, derivada de la disponibilidad de terrenos rurales en la periferia de la ciudad, y el cambio de usos de suelo en el área central para comercio, oficinas y servicios, creando así, una ciudad administrativa rodeada de desarrollos habitacionales, desprovistos de equipamiento urbano que sustente las necesidades de la población; ello conduce al desplazamiento de la creciente población flotante, usuaria pero no residente que supera los 3 millones de personas diarias. Lo cual genera mayor densidad y flujo de medios de transporte.

El crecimiento periférico, disperso y desordenado agudiza la segmentación social y los desequilibrios en la dotación de servicios y equipamiento urbano, sobre todo en los municipios conurbados del oriente y el norte de la zmvm (Ver **Figura 2**). La orientación del crecimiento hasta el 2020, se ubicará esencialmente en los siguientes ejes: a) al oriente, por la salida a Puebla, con amenaza de desbordarse sobre las zonas forestales y áreas naturales protegidas; b) al norte, sobre la vía José López Portillo, y las carreteras a Pachuca y a Querétaro, presionando también sobre las áreas naturales protegidas; c) al sur, con menor ímpetu que en los dos casos anteriores, sobre las delegaciones de Tláhuac, Tlalpan, Milpa Alta y Xochimilco (Escamilla & Santos, 2012).



**Figura 2** Distribución del crecimiento urbano de la ZMVM

*Fuente: Elaboración propia a partir de mapa de INEGI*

De acuerdo a la Bitácora de Vivienda (CMIC, 2012) los desarrollos de vivienda horizontal son los que presentaron mayor oferta y demanda en el 2012 en el Estado de México, y el 76% del universo de demanda tuvo ingresos menores a los 4 vsm (veces salarios mínimos); por lo que de acuerdo a la homologación de vivienda propuesta por Asociación Hipotecaria Mexicana en 2010, éstas se identifican como de bajo costo, las cuales van de 0 a 3.5 salarios mínimos al mes y se clasificaron como Interés Social – Económica, Popular y Tradicional.

Para el caso específico de ésta investigación, fue necesario conocer los municipios de la Zona Metropolitana del Valle de México con mayor crecimiento en los últimos 10 años. El total de viviendas de interés social construidas en el periodo 2002-2012, fue de 525,649 viviendas. De las cuales el 63% se presenta en 13 municipios ubicados al Norte del área de estudio (ver **Tabla 3**).

<b>Tabla 3</b> Número de viviendas construidas en 10 años por municipio		
No.	LOCALIDAD	#DE VIVIENDAS
1	Tecámac	132,275
2	Zumpango	87,710
3	Ecatepec	23,728
4	Coacalco	15,468
5	Acolman	15,301
6	Nicolás Romero	15,012
7	Tultepec	12,824
8	Cuautitlán Izcalli	11,964
9	Huehuetoca	7,653
10	Tultitlan	7,305
11	Tepotzotlán	5,464
12	Cuautitlán	4,564
13	Tlalnepantla	3,736

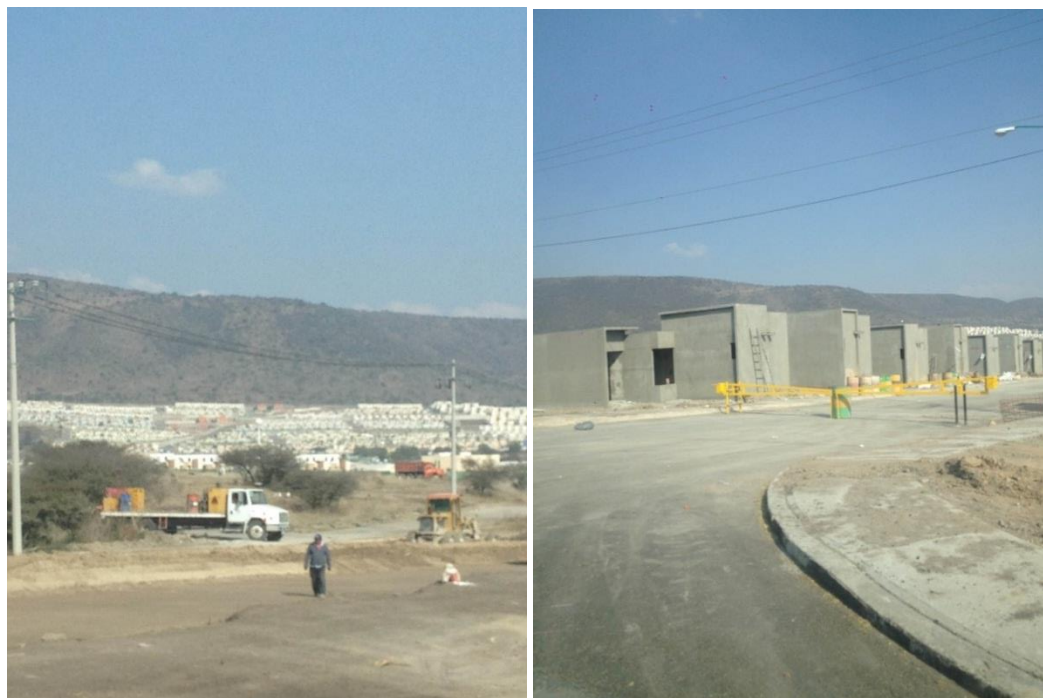
*Fuente: Elaboración propia a partir de SEDUR Edo. Mex, 2010*

La tipología de construcción para la vivienda horizontal bajo costo en la zmvm, se caracteriza por desplante en lotes rectangulares, dotándola de un frente mínimo y mucha profundidad. Comúnmente tiene colindancias en ambos lados longitudinales, por lo que son muros compartidos. Al interior, los espacios están distribuidos en dos plantas; en planta baja el área pública que normalmente es un espacio semiabierto y en la planta alta el área privada con delimitación de cuartos.

Básicamente estas viviendas ofrecen un espacio de usos múltiples (sala, comedor o estudio), cocina, dos recamaras, un baño y un patio de servicios. Los materiales de construcción comunes de la zona son: concreto, bloque de concreto y ladrillo.

La baja calidad de los materiales de construcción, ofrecen poca resistencia al clima, y el carente diseño de la edificación, propician que las viviendas no respondan a los requerimientos de los habitantes. Aunado a esto, la mayoría de las veces el predio define la orientación de las viviendas, por lo que el desempeño térmico es deficiente.

En la **Figura 3** se muestra la situación actual de uno de los municipios con mayor potencial de crecimiento para los años siguientes, en donde se puede observar lo antes mencionado.



**Figura 3** Situación actual en Huehuetoca Edo. México

*Fuente: Figueroa, 2013*

### 3.2 CLIMA DE ZMVM

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) define al clima como el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un lugar determinado. El cuál es el resultado de la interacción de varios factores atmosféricos y geográficos, que influyen directamente en sus características.

- Factores atmosféricos: temperatura, humedad, presión del aire, vientos y precipitaciones.
- Factores geográficos: latitud, altitud y longitud.

Existen diferentes sistemas para clasificar el clima, una de las clasificaciones reconocida mundialmente es la de Wladimir Köppen, la cual fue modificada por Enriqueta García en 1964, para adaptarla a las condiciones de nuestro país. Esta clasificación está basada en los datos de temperatura y precipitación.

#### *Clasificación de Köppen – García*

El clima predominante de la zmvm, según García (1981) es C(w)b(i')g, el cual corresponde a clima templado subhúmedo (humedad moderada), de verano largo, y precipitación de invierno inferior al 5%; posee oscilación térmica y la temperatura más alta ocurre antes del solsticio de verano. A continuación se describen detalladamente las clasificaciones:

- C: Clima templado húmedo (mesotermal). La temperatura media del mes más frío está por debajo de 18°, pero arriba de -3°C; y al menos un mes tiene una temperatura media mayo a 10°C. Por lo tanto estos climas si presentan estaciones de verano e invierno diferenciadas.
- w: Lluvia periódica e invierno seco. Durante el mes más lluvioso de verano, llueve 10 veces o más que en el mes más seco.
- b: Temperatura del mes más caluroso inferior a 22°C, pero superior a 10°C.
- i': poca oscilación, 5° y 7°C anual.
- g: mes más caluroso en primavera.

En la **Tabla 4** se muestra el porcentaje de la superficie de la zmvm, que cada tipo de clima abarca. Se observa que los climas templados representan un 81.7% del territorio; sin embargo, tienen variaciones representativas de humedad, por lo que se clasifican como subhúmedos de humedad mayor, media, menor y semiseco. En la **Figura 4** se observa la distribución de los porcentajes antes mencionados en el territorio de la zmvm.

Tabla 4 Superficie por tipo de clima		
TIPO O SUBTIPO	SÍMBOLO	PORCENTAJE
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media	ACw <sub>1</sub>	0.34
Templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad	C(w <sub>0</sub> )	28.35
Templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media	C(w <sub>1</sub> )	13.31
Templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad	C(w <sub>2</sub> )	21.50
Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano	C(E)(m)	1.18
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad	C(E)(w <sub>2</sub> )	16.47
Semiseco templado	BS <sub>1k</sub>	18.57
Frío de altura con marcado invierno	E(T)	0.28

Fuente: INEGI, Cuaderno estadístico de la zmv 2013-2014

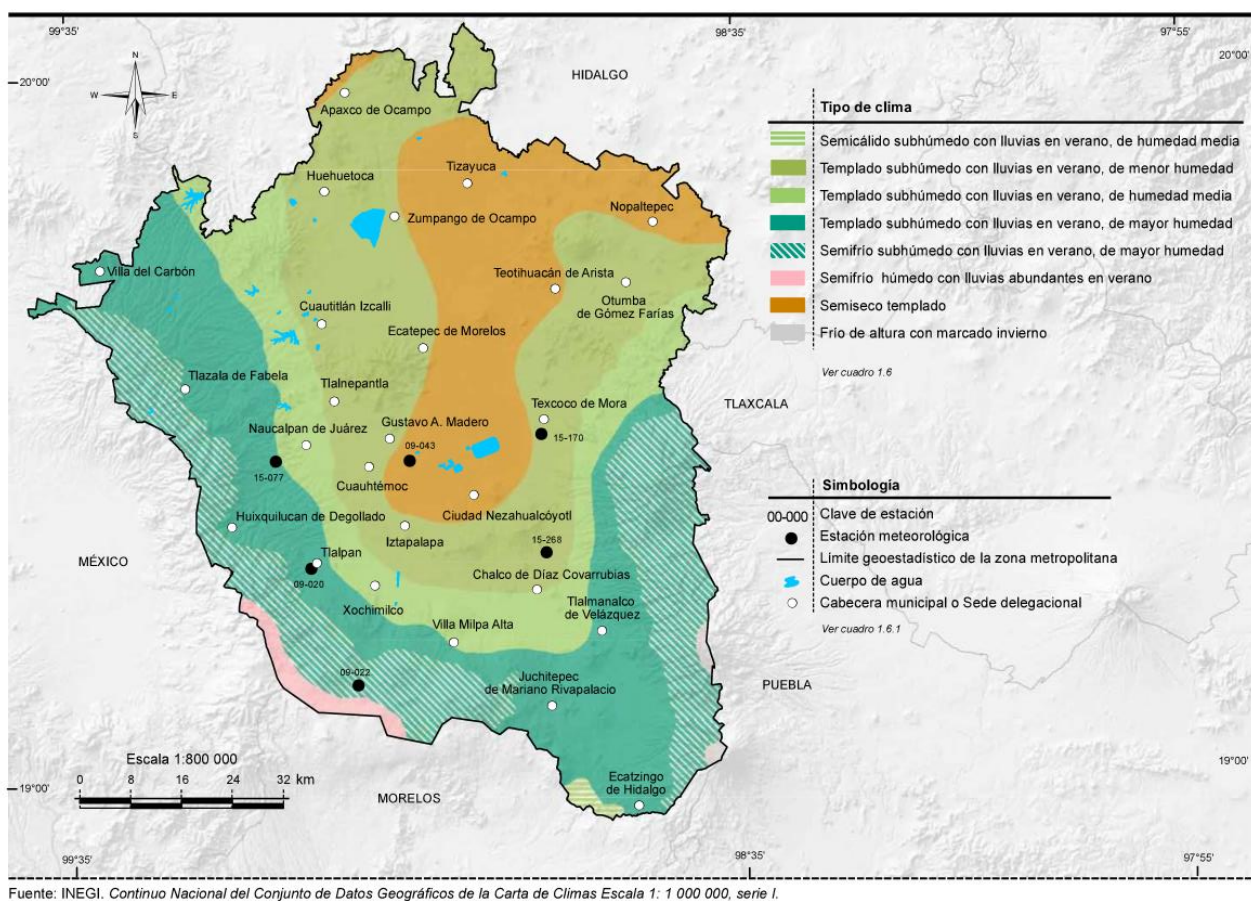


Figura 4 Clima de la zmv Köppen – García

Fuente: INEGI, Cuaderno estadístico de la zmv 2013-2014

## *Bioclima*

El clima no solo determina la flora y fauna de una región, si no también es una condicionante para la forma de vida del ser humano; ya que los factores meteorológicos afectan directa o indirectamente las actividades diarias y el uso de los espacios; son determinantes para el emplazamiento y forma de construcción de las edificaciones, así como para la selección de materiales y estrategias de climatización.

De acuerdo con Morillón, et al., (2002), el bioclima de un lugar es la asociación de los elementos meteorológicos que influyen en la sensación de confort fisiológico. Estos elementos son principalmente temperatura del aire (o del bulbo seco), humedad (relativa, específica, absoluta o presión de vapor), radiación solar (duración, intensidad y calidad), viento (dirección, velocidad y frecuencia), y temperatura de radiación (la del entorno físico interior).

Morillón, et al., (2002) presentó un trabajo de mapas bioclimáticos, el cual fue el resultado del análisis de información climática de 185 estaciones meteorológicas del país y las condiciones de confort higrotérmico del ser humano para las diversas regiones del territorio nacional. Definió la zona de confort térmico con la ecuación propuesta por Szokolay (1); y los resultados obtenidos fueron validados con los parámetros manejados por la American Society of Heating Refrigerating and Air- Conditioning Engineer (ASHRAE).

$$T_n = 17.6 + 0.31(T_m) \quad (1)$$

Donde

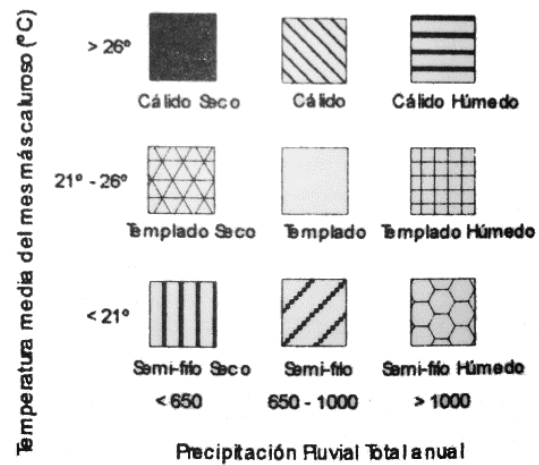
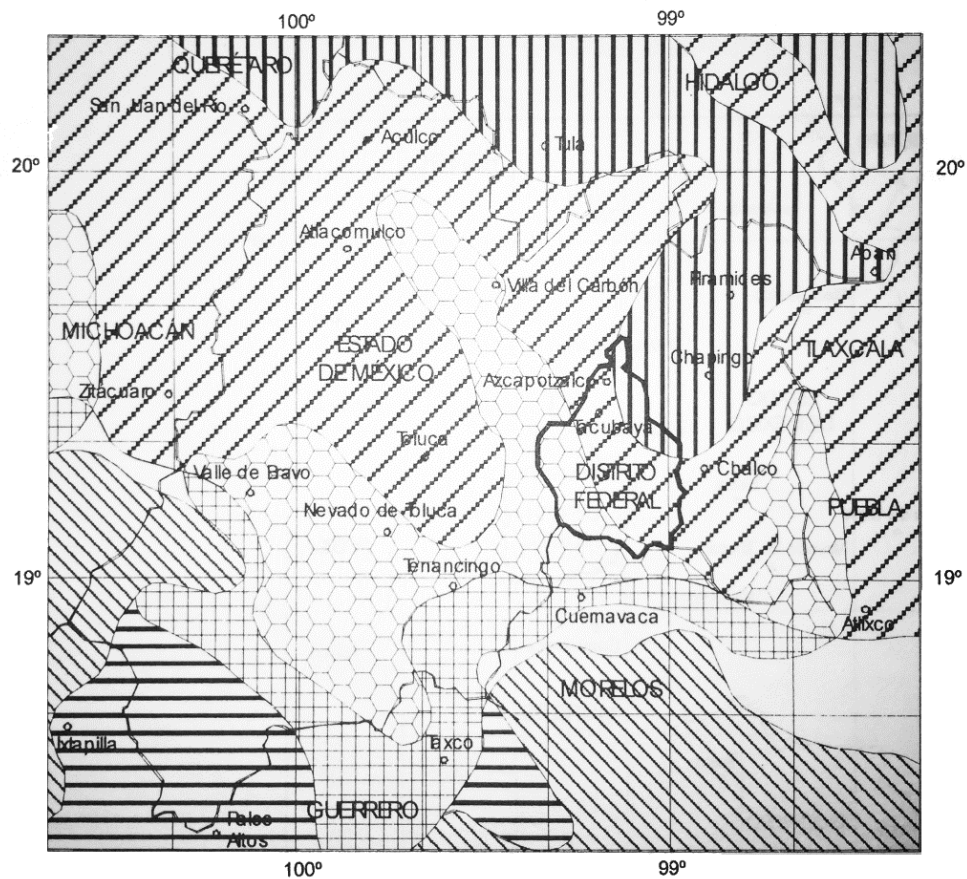
*T<sub>n</sub>: Temperatura neutral*

*T<sub>m</sub>: Temperatura media*

En el trabajo de Fuentes (2004), se muestra que los bioclimas correspondientes a la zmvm son: Semifrío humedo, semifrío y semifrío seco; este ultimo con tendencia hacia el norte, debido a la baja precipitación pluvial que presenta esta área del territorio.



Ag rup ación Bioclim ática



**Figura 5** Bioclimas de la zmvm

*Fuente: Fuentes, 2004*

### *Variables Meteorológicas*

A continuación se describen las variables meteorológicas importantes a considerar en el análisis climático: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad de viento, precipitación y radiación solar.

**Temperatura del aire:** La temperatura es una medida de energía calorífica (grado de actividad molecular) de un cuerpo (Fuentes, 2004). En el caso de la temperatura del aire, se refiere a la cantidad de calor contenida en el fluido, sin contemplar la radiación, humedad relativa o velocidad de viento. Los datos disponibles de temperatura en los registros de los observatorios meteorológicos normalmente son mínima, media y máxima.

**Humedad Relativa:** La humedad es cantidad de vapor de agua contenida en el aire. En el caso de la humedad relativa, se refiere a la relación directa que existe entre la cantidad de vapor de agua y la cantidad de saturación del aire a una determinada presión y temperatura; es decir, un aire totalmente saturado tendrá una humedad relativa de 100% (Fuentes, 2004).

La humedad está íntimamente relacionada con la temperatura. Al calentarse, el aire se dilata y por lo tanto su capacidad de para contener vapor de agua aumenta; por el contrario, si el aire se enfría, se contrae y su capacidad de saturación disminuye. Si la temperatura del aire desciende por debajo del punto de rocío, pero arriba de los 0 °C, el vapor de agua se condensa en forma de rocío o niebla, pero si el punto de saturación se da una temperatura de 0 °C o menor, el vapor de agua se sublima en forma de escarcha, nieve o granizo (Fuentes, 2004).

**Velocidad del viento:** El viento es aire en movimiento generado por las diferencias de temperatura y presión atmosférica, que son causadas por un calentamiento no uniforme de la superficie terrestre. La velocidad de viento normalmente se expresa en metros sobre segundo (m/s) y las mediciones normalmente se efectúan en los observatorios meteorológicos entre los 4 y 10 metros de altura, en terreno despejado (Fuentes, 2004).

**Precipitación:** Se refiere a la caída de humedad atmosférica, ya sea condensada en gotas de agua o congelada en forma de cristales. Las precipitaciones pueden ser continuas (durante cierto periodo de tiempo), intermitentes o esporádicas. En general pueden presentarse de cuatro formas: lluvia, escarcha o aguanieve, nieve o granizo (Fuentes, 2004).

**Temperatura radiante:** es la suma de la temperatura del aire más las radiaciones emitidas por los cuerpos contenidos en el espacio.

### 3.3 CONFORT TÉRMICO

El término *confort* como tal, es un galicismo, que significa comodidad, y usualmente se asocia con la sensación de bienestar, por el significado de su raíz del latín *conforate*, que significa confortar o consolar. En la edad media por las condiciones de hacinamiento e insalubres de los espacios, no se tenía una idea precisa del significado; fue en el siglo XVII que el término comenzó a utilizarse con el fin de definir los límites de los espacios entre lo público y lo privado, por lo que se le relacionó con la idea de intimidad. En el siglo XVIII se le vinculó con la comodidad, aunque esto era exclusivo de la burguesía.

La revolución industrial marco cambios representativos en el desarrollo de los espacios interiores: la manera de construcción, los materiales, así como la ventilación e iluminación. Por lo que en el siglo XIX el confort se refería a la calidad de un espacio en el que intervenían elementos mecánicos. Y fue hasta el siglo XX que las ingenierías domesticas aparecieron y marcaron la eficiencia y la comodidad como ideas de confort. En la segunda mitad de éste siglo, se le consideró algo medible y pertinente de estudiar. (Rybczynski (2003) a partir de Jiménez, (2013)). En la **Tabla 5** se presentan algunos significados del confort y confort térmico.

El estudio del Confort Térmico se divide en dos enfoques teóricos: cuantitativo/ predicción y cualitativo/ adaptativo (Gómez Azpeitia, Bojórquez y Ruiz, 2007). Los modelos desarrollados bajo el enfoque de predicción se basan en el balance térmico, para el cual, la sensación de confort se experimenta cuando el cuerpo no cede ni gana calor del ambiente inmediato (Mondelo, 2001) y la aplicación de este modelo en espacios naturalmente ventilados, se limita al proceso termodinámico de intercambio de calor hombre-espacio.

Tabla 5 Definiciones de confort y confort térmico	
CONFORT	CONFORT TÉRMICO
Aquello que produce bienestar y comodidades (RAE)	La condición de la mente que expresa la satisfacción con el entorno térmico (ASHRAE)
El estado del completo bienestar físico, mental y social del individuo y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades (OMS, 1946)	La ausencia de irritación o malestar térmico (Givoni, 1998)

En cambio el uso de modelos de adaptación, permite conocer las acciones psicofisiológicas que el hombre realiza para mejorar su ambiente térmico en la búsqueda del confort. Humphreys et al. (2007) dice que las personas no son entes pasivos receptoras de su ambiente térmico, si no que interactúan de manera activa en con él.

Los modelos de adaptación se plantearon como alternativa de evaluación de confort térmico para localidades y países que no necesitan sistemas de climatización artificial en las edificaciones. Los modelos desarrollados bajo éste enfoque, consideran el confort térmico como un estado mental en el que el hombre interactúa con su entorno, a través factores fisiológicos, sociales y acciones psicológicas que le permiten alcanzarlo (Gómez, et al., 2007).

### ***3.3.1 Enfoque Predictivo***

Al enfoque predictivo se le conoce también como cuantitativo, éste se dirige a las ciencias físicas y biológicas, por lo que tiende a buscar las relaciones causa-efecto entre las variables de estudio (Gómez, Bojórquez, & Ruiz, 2007); se basa en la teoría de transferencia de calor en estado sedentario y se sustenta en una serie de estudios en cámaras de ambiente controlado.

El modelo conceptual de éste enfoque establece que el confort es un estado de equilibrio resultante del balance de cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato, debido al proceso fisiológico de termorregulación del cuerpo humano en respuesta a los factores del clima: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad de viento y radiación (Bojorquez Morales, 2010).

El balance térmico ante este enfoque es representado con una ecuación de adición o sustracción de cargas térmicas, y cuando dicho balance es igual a cero, es decir, que el ser humano no cede ni gana calor, se experimenta una sensación térmica de confort (Mondelo, 2001). En la ecuación 2 se observan los factores importantes que considera éste enfoque:

$$M \pm W \pm R \pm C - E \pm C_{res} \pm E_{res} - E_d \pm C_{cond} \pm C_{cond.clo} = A \quad (2)$$

En donde:

M= Energía metabólica producida por el organismo.

W= trabajo mecánico desarrollado.

R= intercambio de calor por radiación.

C= Intercambio de calor por convección.

E= Pérdida de calor por evaporación de sudor.

Cres = Intercambio de calor por convección respiratoria.

Eres = Intercambio de calor por evaporación respiratoria.

Ed = Pérdida de calor por difusión de agua por la piel.

Ccond = Intercambio de calor por conducción.

Ccond.clo = Conducción a través del vestido.

A= Pérdida o ganancia de calor por el cuerpo.

Cuando el valor resultante de esta ecuación es mayor a cero existe una incomodidad hacia calor de la persona con el ambiente térmico en el que se encuentra; cuando es menor a cero, la incomodidad es hacia frío. Si el valor es igual a cero, se dice que la persona experimenta sensación de confort.

Este enfoque se basa en los trabajos de Houghton y Yaglou (1920), quienes fueron los primeros en desarrollar trabajos sobre confort térmico, lo denominaron escala de temperatura efectiva (ET). Este trabajo estima el valor equivalente a la temperatura que las personas realmente sienten por el efecto de la humedad en la atmosfera, aunque esta, no siempre coincide con la temperatura que registran los instrumentos.

Dicho trabajo desencadenó muchas teorías y métodos en los que resalta el trabajo de Fanger, ya que no se limitó en establecer un procedimiento de balance térmico cuyo resultado arrojara una magnitud de energía expresada en unidades térmicas –como lo habían realizado hasta el momento- sino de un valor expresado en unidades adimensionales que predicen lo que un individuo normal, con vestimenta regular y actividad determinada podría opinar sobre su sensación térmica (Gomez Azpeitia, 2007).

Según Fanger, define el confort térmico como la manifestación subjetiva de conformidad o satisfacción con el ambiente térmico existente (Mondelo, 2001). En su trabajo propone tres condiciones para que una persona se encuentre en confort térmico: 1) que se cumpla el equilibrio térmico; 2) que la tasa de sudoración se encuentre en los límites de confort; 3) que la temperatura media de la piel este dentro de los límites de confort.

Con base en lo anterior, propuso un sistema mediante el cual puede predecir la sensación térmica de las personas. El cual se desarrolló una cámara de ambiente controlada, con personas con un aislamiento de ropa dado y una actividad metabólica determinada, en donde a través de su sensación (voto) y un conjunto de condiciones del entorno medido, fue capaz de predecir su voto de confort. La ecuación para obtener el voto medio previsto (PMV) es la siguiente:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.025) Lo \quad (3)$$

En donde:

PMV = voto medio previsto

Lo = acumulación de calor en el cuerpo

M = tasa metabólica

De igual manera, se puede calcular el porcentaje de insatisfacción previsto (PPD), el cual predice el porcentaje de la población insatisfecha con el ambiente térmico, y la define a partir de su voto de confort. La ecuación para obtener el PPD es la siguiente:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (4)$$

En donde:

PPD = porcentaje previsto de personas insatisfechas

PMV = voto medio previsto

Los índices anteriores se basan en la valoración subjetiva obtenida de la experimentación de un grupo de personas con características específicas en un ambiente controlado. Para la valoración del grado de discomfort tomo la experiencia de Bedford (1936), quien realizó trabajos de confort térmico en los que establece una escala de siete puntos donde las personas podían escoger la que más se acercaba a la sensación térmica que estaban experimentando (Ver **Tabla 6**).

<b>Tabla 6</b> Escala de sensación térmica de Bedford	
NÚMERO (PUNTO)	SENSACIÓN
3	Muy caluroso
2	Caluroso
1	Ligeramente caluroso
0	Neutral
-1	Ligeramente frío
-2	Frío
-3	Muy frío

*Fuente: Mondelo (2001)*

A partir de los estudios antes mencionados se derivaron investigaciones y desarrollos de modelo basados en los principios del enfoque predictivo. Bojorquez Morales (2010) enuncia 68 modelos encontrados en la revisión bibliográfica, de los cuales se presentan 12 en la **Tabla 7**. Los modelos aquí presentados se seleccionaron por el tipo de clima, los espacios en los que se desarrollaron, o por su importancia de aplicación en el campo del bioclimatismo.

<b>Tabla 7</b> Modelos de predicción				
NÚMERO	MODELO	AUTOR	VARIABLES	CLIMA
1	Temperatura Efectiva (ET)	Houghten – Yaglou, 1923	TBS, HR	Cálido Húmedo
2	Índice de viento Frio (WCI – Wind Chill)	Simple – Passel, 1965)	TBS, VV, TRM	Frío con humedad baja
3	Temperatura Subjetiva (SUBT)	McIntyre, 1975	TBS, VV, TMR, PV	Todo tipo
4	Temperatura efectiva estándar	Nishi – Gagge, 1977	TBS, VV, TMR, PV	Cálido Húmedo
5	Temperatura percibida (PT)	Jendritzky et al., 2000	TBS,HR, VV, RS, TMR, PV	Cálido seco e húmedo
6	Zona variable de confort térmico	Chavez, 2000	TBS,HR, VV, TMR, PV	Templado
7	Índice de estrés térmico (ITS)	Givoni, 1936	TBS,HR, VV, RS, TMR, PV	Cálido Húmedo
8	Temperatura efectiva corregida (CET)	Vernon 1932; Bedford, 1940	TBS,HR, VV, TGN	Cálido Húmedo
9	Temperatura de globo de bulbo húmedo (WBGT)	Yaglou – Minard, 1957	TBS, TBH, TRM, RSext.	Cálido Húmedo
10	Carta Bioclimática (Diagrama)	Olgyay, 1963	TBS,HR, VV, RS, TBH, PV	Templado
11	Triángulos de confort (Diagrama)	Evans y de Shiller, 1988	TBS,HR	Todo tipo
12	Tablas de Mahoney	Mahoney et al., 1971	TBS,HR, VV	Todo tipo

*Fuente: A partir de Bojorquez-Morales (2010)*

A mediados del siglo XX comenzaron a notar que este modelo no era generalizable por las siguientes limitantes: 1) para el cálculo de los índices es necesario conocer el coeficiente de aislamiento, la tasa metabólica, la temperatura de la piel y la pérdida de calor por evaporación de los sujetos, lo que es difícil estimar cuando el estudio se aplica en vivienda o al exterior; 2) solo es aplicable a humanos expuestos a un largo periodo de condiciones climáticas constantes (Bojorquez-Morales, 2010).

### **3.3.2 Enfoque Adaptativo**

Este enfoque se dirige a las ciencias humanas y sociales, por lo que considera la realidad como un ente subjetivo y múltiple. El propósito de la metodología de este enfoque es esclarecer las relaciones entre los factores que conforman el objeto de estudio, cuyos resultados no necesariamente constituyen un fenómeno común.

Uno de los principios de este enfoque es que la caracterización del confort térmico no puede entenderse a partir de la consideración del intercambio de calor entre el cuerpo y su medio circundante, sino que también influyen una serie de acciones que el ser humano puede realizar para alcanzarlo (Gómez, Bojórquez, & Ruiz, 2007)

Bedford, fue el parte aguas entre los dos enfoques, ya que introdujo el empleo de estudios de campo para investigar la relación entre el ambiente y lo que percibimos las personas. Sin embargo fue desarrollado por varios autores (Humphreys 1975, Auliciems 1981, Griffiths 1990, Nicol 1996, de Dear 1997) los cuales proponen, no solamente analizar los factores climáticos del entorno, sino también el sitio donde se va a desarrollar el estudio, los factores fisiológicos de las personas y su cultura. Esto debido a que se cree que la temperatura y zona de confort no debe ser el mismo en un clima cálido que en uno frío, ni realizando actividades sedentarias a actividades que demanden mayor esfuerzo físico.

En la **Tabla 8** se describen los modelos de adaptación que se consideran relevantes para el presente trabajo, por su metodología de aplicación, variables consideradas y representatividad.

El enfoque cualitativo ha sido de gran utilidad en el análisis de confort térmico en un nivel local, ya que al contemplar aspectos físicos y psicológicos de las personas, es muy difícil generalizar los resultados. Al ofrecer un resultado adaptativo, varias normas (ASHRAE 55:2004 y ISO 10551:1995) han incluido este método para la evaluación de edificaciones ventiladas naturalmente.



<b>Tabla 8 Modelos de adaptación</b>				
NÚMERO	AUTOR	DESCRIPCIÓN	VARIABLES	FORMULA
1	Humprey	Índice de temperatura percibida, basado en 200 mil observaciones de diferentes países	TBS, HR, VV, TGN	$T_n = 11,9 + 0,534 \cdot T_m$
2	Auliciems	Índice de temperatura percibida, basado en 52 investigaciones en diferentes países	TBS, HR, VV, TGN	$T_n = 17,6 + 0,31 \cdot T_m$
3	Griffiths	Modelo biofísico para tres diferentes tipos de actividad en interiores y exteriores. Clima húmedo y cálido húmedo	TBS, HR, VV, TGN	$T_n = 12,1 + 0,534 \cdot T_m$
4	Nicol	Índice de temperatura percibida, basado en observaciones recabadas en Pakistán	TBS, HR, VV, RS	$T_n = 17,0 + 0,38 \cdot T_m$
5	Braguer & deDear	Índice de temperatura percibida, basado en observaciones en diferentes tipos de climas	TBS, HR, VV, TGN	$T_n = 17,8 + 0,31 \cdot T_o$
6	Gómez Azpeitia et al.	Índice de temperatura percibida, basado en observaciones recabadas en climas cálidos de México	TBS, HR, VV, TGN	$T_n = 15,6 + 0,545 \cdot T_o$
TBS: Temperatura de bulbo húmedo – HR: Humedad Relativa – VV: Velocidad de Viento – TGN: Temperatura de Globo Negro – RS: Radiación solar – Tn: Temperatura neutra – Tm: Temperatura media – To: Temperatura operativa				

*Fuente: A partir de Bojorquez Morales (2010) y Chavez del Valle (2002)*

El enfoque de adaptación para el estudio de confort térmico tiene un método de investigación de tipo correlacional, ya que este representa una forma de ver la realidad que implica procesos de investigación múltiples e inductivos, que abordan de manera simultánea, los diferentes factores que componen el fenómeno estudiado (Bojorquez Morales, 2010).

El método de estudio de tipo correlacional, basa la toma de decisiones en la recopilación de información, la cual depende de: 1) Caso de estudio, 2) Variables a estudiar, 3) Instrumentos a utilizar, 4) Diseño de cuestionario, 5) Diseño de muestra, 6) Trabajo de campo y 7) Análisis de datos.

El caso o universo de estudio se define por la población en blanco con la que se desarrollara la investigación, esta se puede elegir con base en la edad, género, ocupación, etc.; también es importante considerar la región y espacio que se desea evaluar.

La selección de instrumentos a utilizar, depende de la selección de variables a considerar en la investigación. Con respecto a los sujetos de estudio pueden estar relacionadas con el género, edad, vestimenta, nivel de actividad y complexión física; en cuanto a las variables meteorológicas, pueden ser: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad de viento, radiación solar, temperatura de globo negro, temperatura de bulbo húmedo y presión atmosférica.

Para la selección de instrumentos es importante considerar la precisión de los sensores e intervalos de registro, para obtener datos confiables; así como, los límites de operación, para que se ajuste a las condiciones del ambiente térmico a estudiar.

El diseño de cuestionario debe corresponder al planteamiento de la investigación y basado en la hipótesis del trabajo. Los actuales cuestionarios para el estudio del confort térmico se basan en la norma ISO 10551, la cual toma como referencia estudios como los de Bedford, Humphreys y Auliciems. Esta norma propone preguntas que establecen sensaciones térmicas a partir de escalas subjetivas de percepción, aceptación y preferencia térmica.

El diseño de la muestra establece la representatividad en el universo de estudio; y la selección del método de muestreo, también es importante de considerar, ya que de él depende la posibilidad de errores y sesgos en la información recopilada, lo cual determina la confiabilidad de la información.

El análisis de información en los modelos de regresión por correlación, dependen del modelo estadístico a desarrollar, el cual puede ser de regresión simple (una variable) o múltiple (dos o más variables). En lo que respecta a los modelos simples, se describirán dos procedimientos para establecer la temperatura neutral y rangos de confort:

El método estadístico convencional se basa en la regresión lineal por el método de mínimos cuadrados, de los pares de datos obtenidos en el trabajo de campo. El par de datos correlacionados con el voto de los individuos de sensación térmica percibida y la variable meteorológica registrada en el momento de la encuesta.

La ecuación de la recta obtenida de la regresión lineal representa el conjunto de datos analizados, por lo que al determinar la intersección de la recta con el valor de neutralidad (confort) de los votos, se determina el valor de la temperatura neutral. Para determinar la zona de confort, se le agrega y resta cierta cantidad a la temperatura neutral, usualmente lo propuesto por algunos autores es 2.5 °C.

En medida en que los datos correlacionados se presenten dispersos el valor del coeficiente de correlación (R) disminuye, y con ello la representatividad de la recta y de los valores de temperatura neutral y zona de confort.

El Método de Intervalos de Sensación Térmica (MIST) se basa en la propuesta de Nicol (1993) (Gómez, Bojórquez, & Ruiz, 2007). La principal diferencia del MIST con el método convencional antes mencionado, es que antes de obtener la recta de regresión que caracteriza la muestra estudiada, se determinan grupos para calcular el valor promedio y la desviación estándar de cada uno de ellos. Es decir, la regresión no se hace con todos los pares de datos, sino solo con los valores medios y los rangos se establecen por la adición y sustracción de una o dos veces la desviación estándar de cada uno.

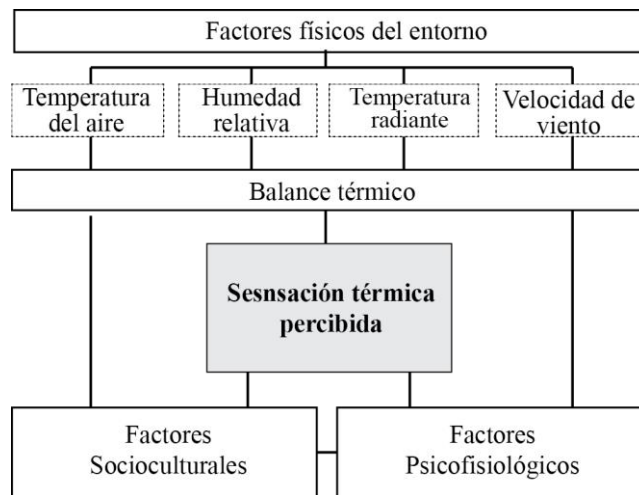
Una vez obtenidos los valores promedio de temperatura (TMedia) y desviación estándar (DS) de las respuestas de cada nivel de sensación termica percibida, se establecen los rangos de distribución para cada categoría de respuesta a partir del valor de la TMedia correspondiente y la adición y sustracción de 1DS, lo cual corresponde al 68% de las personas que expresaron tener la misma sensación térmica; y se repite el procedimiento con 2DS, que corresponde al 95% de las personas.

Por último, se hace la regresión lineal con la series de valores de TMedia, con  $\pm 1DS$  y  $\pm 2DS$ . La intersección de cada una de las líneas de regresión con las ordenada correspondiente a la sensación termica de confort, determina el valor de la temperatura neutral, así como los límites de la zona de confort.

En este método lo que determina la validez de la regresión, es el coeficiente múltiple de determinación ( $r^2$ ) resultante de la recta, el cual representa la cantidad de variación en el eje “y”. Este valor va del 0 al 1, en el caso de los estudios de confort térmico, mientras más próximo a uno, se considera de mayor validez, ya que esto indica que hubo menor variación en la muestra.

### 3.4 PERCEPCIÓN TÉRMICA

El conocer los factores que afectan la percepción térmica humana ayuda a comprender la interacción del entorno con la sensación térmica percibida, lo cual permite definir los aspectos importantes que se deben considerar en el diseño y evaluación de espacios. El objetivo de este apartado es exponer dichos factores; en la **Figura 6** se muestra un esquema de la relación de estos factores.



**Figura 6** Relación de factores que afectan la sensación térmica percibida

*Fuente: Elaboración propia*

- *Factores físicos del entorno*

El entorno en el que el ser humano se desarrolla se compone del medio construido y natural; el medio construido se refiere a los espacios arquitectónicos, y el medio natural se refiere a todos los elementos y procesos naturales que afectan directamente la percepción térmica. En la **Tabla 9** se muestra una descripción de los efectos que los principales factores físicos del entorno que tienen sobre la percepción térmica: Temperatura del aire, humedad relativa, temperatura radiante, velocidad del viento.

- *Balance térmico*

Se dice que hay balance térmico cuando el intercambio térmico entre un individuo y el entorno está equilibrado (Mondelo, 2001). Ante los factores climáticos antes mencionados, el ser humano realiza acciones de termorregulación que le permiten equilibrar su temperatura corporal con respecto a las condiciones climáticas de su entorno, para alcanzar el confort térmico. En la **Tabla 10** se muestran los principales factores o acciones de termorregulación que intervienen en el balance térmico. A pesar de que el metabolismo basal (M) y por actividad es parte de balance térmico, no se incluyó en la tabla porque se explican más adelante en los factores psicofisiológicos.

<b>Tabla 9</b> Factores físicos del entorno que afectan la sensación térmica percibida.			
	FACTOR	EFEECTO	UNIDAD
T <sub>a</sub>	Temperatura del aire	De esta va a depender directamente la ganancia o pérdida de calor a través del intercambio de temperatura con la de la piel.	°C (grados Celsius)
HR	Humedad Relativa	Afecta a los sistemas de enfriamiento como la transpiración y evo-transpiración.	% (porcentaje)
TRM	Temperatura radiante media	Favorece las ganancias de calor, ya que la radiación es captada como calor por el ser humano.	°C (grados Celsius)
VV	Velocidad del viento	El cual tiene efectos en la percepción de la temperatura, ya que a través de él se favorece la pérdida conectiva de calor. Y en caso de superar la temperatura corporal del ser humano (36 – 37°C), genera aportaciones de calor al organismo	m/s (metros sobre segundos)

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla 10</b> Factores que intervienen en el balance térmico				
	FACTOR	DESCRIPCIÓN	EFEECTO	
			Ganancia de calor	Perdida de calor
E	Evaporación	Se refiere al intercambio evaporativo que se genera a través de la respiración y la sudoración.	X	X
K	Conducción	Es el intercambio por contacto directo con objetos solidos de temperaturas menores o mayores a la corporal.	X	X
C	Convección	Se da por el fluido (aire o agua) a menor o mayor temperatura que la corporal.	X	X
R	Radiación	Cuando el cuerpo está a mayor temperatura que el ambiente e irradia calor hacia él		X
		Cuando el cuerpo está a menor temperatura que el ambiente y absorbe la radiación en forma de calor	X	

*Fuente: Elaboración propia*

La siguiente ecuación presenta de manera simplificada el balance térmico:

$$M \pm R \pm C - E = A \quad (5)$$

En donde A sería el saldo final, es decir si  $A=0$  se puede decir que existe equilibrio térmico. Mondelo (2001) establece los siguientes parámetros:

- 1) Si  $M \pm R \pm C = 0$  ( $E = 0$ ) equilibrio en condiciones necesarias pero no suficientes para confort térmico.
- 2)  $M \pm R \pm C - E = 0$  equilibrio en condiciones de calor permisibles
- 3)  $M \pm R \pm C - E > 0$  desequilibrio por condiciones críticas por calor
- 4)  $M \pm R \pm C - E < 0$  desequilibrio por condiciones críticas por frío

- *Factores Psicofisiológicos*

Los factores psicofisiológicos de las personas no están relacionados con los factores climáticos ni acciones de termorregulación directamente, pero afectan directamente la percepción térmica. En la **Tabla 11** se exponen los principales factores psicofisiológicos que afectan la sensación térmica percibida.

<b>Tabla 11</b> Factores psicofisiológicos que afectan la sensación térmica percibida	
FACTOR	DESCRIPCIÓN
Género	La capacidad evaporativa, metabolismo y temperatura de piel son más reducidas para las mujeres. Por lo tanto tienen menor resistencia a la sobrecarga calórica.
Edad	Con la edad los mecanismos termorreguladores pierden eficiencia.
Complexión física (peso estatura)	La producción de calor de un cuerpo está en relación con su volumen ( $W/m^3$ ) mientras que la disipación es proporcional a su superficie ( $W/m^2$ ).

*Fuente: elaboración propia con base en Mondelo (2001)*

Uno de los factores psicofisiológicos que más influyen en la sensación térmica percibida es el **metabolismo**, el cual podemos definir la suma de reacciones químicas que se producen en todas las células del organismo. Los procesos metabólicos que desempeña el ser humano son exotérmicos, es decir, producen calor; y cuando existe exceso de calor en el organismo, éste emplea acciones de termorregulación para disiparlo (radiación, convección y evaporación). La producción total de calor metabólico se divide en: metabolismo basal y el metabolismo global.

El metabolismo basal, es la energía producida por los procesos y funciones básicas del ser humano, y varía por edad, género y complexión física; por ejemplo el metabolismo basal por metro cuadrado de superficie para un niño de dos años es de 60W mientras que para una persona de 80 años es de 38W. Con respecto al género, el metabolismo basal de la mujer es de 40.6W/m<sup>2</sup>, y el del hombre es de 42.9W/m<sup>2</sup>.

El metabolismo global, es la suma del metabolismo basal más la energía generada por la actividad física conscientemente. Por ejemplo una actividad sedentaria genera entre 58 y 78W/m<sup>2</sup>, mientras que un atleta de alto rendimiento puede alcanzar hasta los 2000W/m<sup>2</sup>. Sin embargo la sensación térmica puede ser de confort térmico en ambos casos debido a estímulos tipo psicológicos (adecuación al entorno).

El calor metabólico correlaciona habitualmente con la superficie corporal (S.C) en m<sup>2</sup> y con el peso (Pc) en kilogramos. La superficie corporal se puede determinar a partir del peso y la altura mediante tablas o ecuaciones como la de DuBois & DuBois (1915). Sin embargo en la mayoría de los trabajos se utiliza el valor de superficie corporal de 1.8 m<sup>2</sup>, que es el “hombre estándar” de 70 kg y 1.73 m de estatura (Mondelo, 2001).

Las unidades comunes utilizadas son W/m<sup>2</sup> y met, que equivale a 58.15 W/m<sup>2</sup>, lo cual corresponde a la producción metabólica global de una persona sentada en reposo. En la **Tabla 12** se muestran un conjunto de actividades domésticas con su equivalencia en met y W/m<sup>2</sup>.

<b>Tabla 12</b> Actividad metabólica en met y W/m <sup>2</sup>		
ACTIVIDAD	MET	W/m <sup>2</sup>
Durmiendo	0.7	40
Sentado en reposo	1.0	58.15
Actividad sedentaria (escuela, oficina)	1.2	70
De pie en reposo	1.2	70
De pie en actividad ligera	1.6	93
Caminando 3.2km/h (ligero)	2.0	115
Caminando 4.3km/h (moderado)	2.6	150
Caminando 6.8km/h (intenso)	3.8	220
Leyendo/ escribiendo	1.0	60
Cocinando	1.6-2.0	95-115
Aseo de casa	2.0-3.4	115-200
Lavar trastes	2.5	145
Trabajo de jardinería	2.9	170

*Fuente: ANSI ASHRAE 55-2004*

- *Factores socioculturales*

Los factores socioculturales han sido cuestionados debido a su subjetividad, sin embargo no dejan de ser importantes para la sensación térmica percibida. Se refieren al modo de vida, las costumbres y cultura, que determinan la vestimenta y formas de convivencia social, así como la experiencia en el clima del sitio, que es transmitida a través de varias generaciones.

Los hábitos y preferencias personales influyen en las preferencias térmicas, ya que la expectativa de un ambiente térmico en específico que se genera por el uso consecutivo, puede llegar a estimular psicológicamente para sentirse en confort térmico, aunque las condiciones no sean las adecuadas.

<b>Tabla 13</b> Factores socioculturales que afectan la sensación térmica percibida	
FACTOR	DESCRIPCIÓN
Adecuación al entorno	Éste es un factor que no todos los autores toman en cuenta; se refiere a la capacidad de adaptación de las personas. Donde influyen sus hábitos, expectativas, experiencia, conducta y tiempo de permanencia.
Aclimatación al calor	Es la adaptación a condiciones microclimáticas calurosas y se logra en un periodo de tiempo de 7 a 14 días. La aclimatación no es permanente, se pierde conforme se abandona la exposición al ambiente térmico caluroso. Givoni y Goldman (1973) señalan que por cada día de descanso se pierde medio día de aclimatación.

*Fuente: Elaboración propia con base en (Mondelo, 2001)*

Uno de los factores socioculturales más importantes para la sensación térmica percibida es el **arropamiento**; éste depende directamente de la cultura y del clima en el que se desarrollen los individuos. Mondelo (2001) dice que el vestido modifica la interrelación entre el organismo y el medio, ya que es una frontera de transición entre ambos que amortigua o incrementa los efectos del ambiente sobre la percepción térmica.

La vestimenta funciona como aislante, es decir evita la pérdida de calor en el ser humano, lo cual puede ser favorable en climas templados; sin embargo, en ambientes térmico calurosos éste puede ser un factor importante de discomfort. Para su comprensión, las prendas se clasifican según su capacidad de aislamiento y la unidad de medida utilizada es el clo.



La escala es desde 0.0 clo que equivale a una persona totalmente desnuda, y el incremento es directamente proporcional a la cantidad de ropa utilizada; para el cálculo del valor total de aislamiento por ropa se suman los valores de cada una de las prendas utilizadas. Sin embargo Olgyay (2008) menciona que el máximo valor de aislamiento es 4.5 clo. En la **Tabla 14** se muestran los valores de aislamiento de vestimenta típica por género para clima templado.

<b>Tabla 14</b> Aislamiento de vestimenta típica por género en clima templado			
MUJER		HOMBRE	
PRENDA	AISLAMIENTO	PRENDA	AISLAMIENTO
Sostén	0.01	Calzoncillos	0.04
Pantaletas	0.03	Camiseta interior	0.14
Blusa de manga larga	0.12	Camisa de manga larga	0.19
Falda de vestir	0.23	Pantalones de vestir	0.24
Sweater ligero	0.25	Sweater ligero	0.25
Pantimedia	0.02	Calcetines	0.02
Zapatos	0.03	Zapatos	0.03
TOTAL	0.69	TOTAL	0.91

*Fuente: ANSI ASHRAE 55-2004*

### 3.5 NORMATIVA

En este apartado se presenta el análisis de la normativa vigente, relacionada con la medición de parámetros climáticos, sensación térmica percibida y estándares de confort térmico. Esto permite conocer los alcances y limitantes de dichas normas, para establecer consideraciones pertinentes el presente estudio. Cabe mencionar que las normas aquí mencionadas se seleccionaron con base en la pertinencia del estudio, en relación al tipo de espacios arquitectónicos a los que van dirigidas, así como en la generalidad de aplicación de las mismas, en cuanto a las variables del ambiente térmico y las condiciones de clima en las que fueron desarrolladas.

- *ANSI-ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (Condiciones de ambiente térmico para ocupación humana).*

Esta norma fue publicada por el American National Standards Institute (ANSI) y la American Society of Heating, Refrigerating, Air conditioning Engineers (ASHRAE) en 1992 con una actualización en el 2004 y 2010 que incluyo espacios naturalmente ventilados. Dicha norma especifica las condiciones térmicas aceptables del ambiente interior para cierto grupo de personas.

- *ISO 10551:2005 Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales (Ergonomía del ambiente térmico - Evaluación de la influencia del ambiente térmico utilizando escalas de juicio subjetivo)*
- *ISO 7726:1998 Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities (Ergonomía del ambiente térmico - Instrumentos para la medida de magnitudes físicas)*
- *ISO 9920:2007 Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble (Ergonomía del ambiente térmico - estimación del aislamiento térmico y de la resistencia a la evaporación de un conjunto de ropa)*
- *ISO 8996:2004 Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate (Ergonomía del ambiente térmico – determinación de la tasa metabólica)*

Estas normas fueron publicadas por la International Standardization Organization (ISO). Establecen criterios para: estudios del ambiente térmico, por medio de escalas subjetivas; monitoreo térmico, determina los materiales e instrumentos adecuados para la medición, así como la adecuada colocación de los mismos; calculo térmico, proponen tasa de metabolismo y factor de arropamiento estandarizado.

- *NMX-AA-164-SCFI-2013 Edificación Sustentable - criterios y requerimientos ambientales mínimos*

Esta norma de aplicación voluntaria fue publicada por la Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (SCFI) en el 2013; establece los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable en México. Es aplicable a todos los sectores de la construcción y en el apartado 5.2.5.3 de dicha norma, establece parámetros de confort térmico interior.

- *NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones – Envolvente de edificios para uso habitacional.*

Esta norma fue publicada por la Secretaria de Energía (SENER) en el 2011. Es una herramienta de evaluación de la envolvente arquitectónica de edificaciones para uso habitacional, con la cual se busca optimizar el desempeño térmico de las edificaciones, limitando las ganancias de calor para reducir consumo energético.

En la **Tabla 15** se realiza una descripción de las normas antes mencionas, identificando las aportaciones y aplicación pertinentes en el estudio.

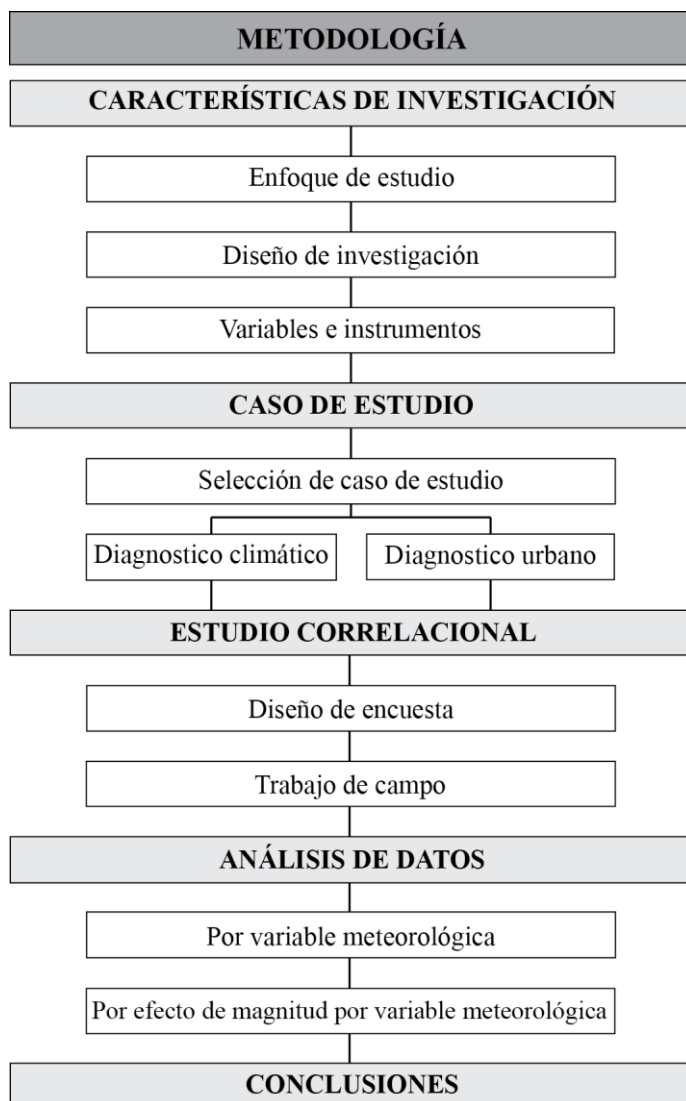
<b>Tabla 15</b> Normatividad		
NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
Trabajo de campo		
ANSI-ASHRAE Standard 55	Específica los factores del ambiente térmico interior y personales que producen condiciones ambientales térmicamente aceptables para una mayoría.	Se utilizaron los criterios para los procedimientos para las mediciones de variables; se estudió el módulo de espacios naturalmente ventilados, así como las definiciones de variables.
ISO 10551:2005	Esta norma sugiere el uso de escalas subjetivas de juicio (de percepción térmica, confort térmico, preferencia térmica y tolerancia) para evaluación del ambiente térmico, con la finalidad de obtener datos fiables y comparables sobre aspectos confort o estrés térmico.	Las escalas propuestas por esta norma se retomaron en el diseño de cuestionaron.
ISO 7726:1998	Determina las características básicas de los instrumentos para mediciones físicas cuantitativas que caracterizan a un ambiente, y los clasifica para su grado de confiabilidad. Establece métodos para el correcto desarrollo de mediciones cuantitativas de este ambiente.	Se utilizó para la clasificación y calibración de instrumentos utilizados para el monitoreo de estrés térmico.
ISO 9920:2007	Esta norma específica y describe las propiedades térmicas de las prendas de vestir comúnmente utilizadas. Determina como unidad de medida el factor “Clo”, y examina factores físicos con relación a las propiedades de la ropa.	Fue complemento de la norma ANSI-ASHRAE Standard 55 para determinar los valores de “Clo” comunes en un clima templado.

ISO 8996:2004	Describe algunos métodos para la estimación de la producción de calor metabólico, contiene estimaciones de la tasa metabólica por actividad y ocupación. Determina la actividad metabólica como factor determinante del confort.	Fue complemento de la norma ANSI-ASHRAE Standard 55 para determinar la tasa metabólica de las actividades comunes desarrolladas en una vivienda y su clasificación.
Comparativo de referencia		
NMX-AA-164-SCFI-2013	Especifica los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable. Incluye un apartado de calidad del ambiente interior en el cual establece parámetros de confort térmico.	Se compararon los resultados del trabajo, con los parámetros establecidos por la norma.
NOM-020-ENER-2011	Establece parámetros del ambiente interior para la evaluación del desempeño térmico de la envolvente arquitectónica en diferentes ciudades de la República Mexicana.	Se compararon los resultados del trabajo, con la temperatura interior sugerida por la norma para el clima correspondiente de la ZMVM.

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4 METODOLOGÍA

La metodología de la presente investigación se compone de cinco principales etapas: 1) Características de la Investigación: incluye el enfoque de estudio, diseño de investigación y las variables e instrumentos a utilizar; 2) Análisis de Sitio: presenta el análisis urbano y climático del caso de estudio; 3) Estudio Correlacional: muestra el diseño de la encuesta y las condicionantes del trabajo de campo ; 4) Análisis de Datos: describe el proceso de los análisis que se realizaron; 5) Conclusiones (Ver **Figura 7**).

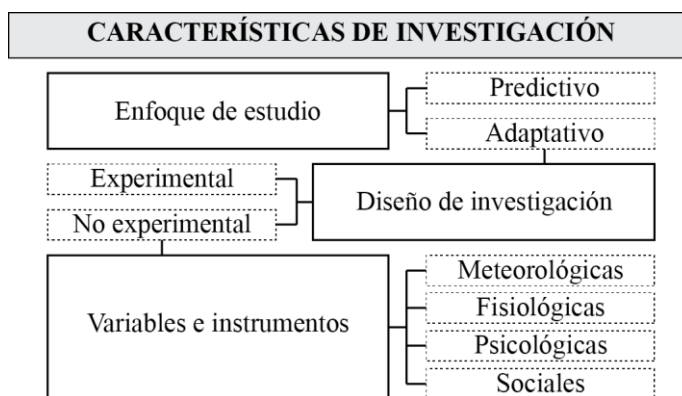


**Figura 7** Esquema metodológico

*Fuente: Elaboración Propia*

## 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN

Las características de la investigación se plantearon en función de los objetivos. Para la determinación del enfoque de estudio fue necesario conocer las condicionantes y los parámetros a evaluar de los enfoques de confort térmico mencionados en el apartado 3.3. El diseño de la investigación se definió con base al enfoque de estudio, y a su vez, éste fue determinante para la selección de variables e instrumentos a utilizar. En la **Figura 8** se muestra el esquema del proceso que se siguió en esta etapa, y se observa que cada fase o acción afecta y es dependiente de las demás.



**Figura 8** Esquema de las características de la investigación

*Fuente: Elaboración propia*

### 4.1.1 Enfoque de Estudio

Para la determinación del enfoque de estudio fue necesario definir las necesidades con base al objetivo general: Establecer parámetros de confort térmico para vivienda de producción en serie de la Zona Metropolitana del Valle de México. La **Tabla 16** muestra un análisis comparativo de los parámetros analizados por los enfoques de estudio de confort térmico y las necesidades del estudio; ésta facilita la comprensión de la selección del enfoque adaptativo por la afinidad de parámetros estudiados.

<b>Tabla 16</b> Análisis comparativo los enfoques de estudio de confort térmico y necesidades del estudio			
<b>PARAMETROS</b>	<b>ENFOQUE PREDICTIVO</b>	<b>ENFOQUE ADAPTATIVO</b>	<b>NECESIDADES DEL ESTUDIO</b>
<b>Entorno</b>	Simulado	Natural	Natural
<b>Variables analizadas</b>	Físicas, Fisiológicas	Físicas, Fisiológicas, psicológicas y sociales	Físicas, Psicofisiológicas
<b>Origen de los datos</b>	Laboratorio	Campo	Campo

*Fuente: Elaborado a partir de Bojorquez Morales, 2010*

Para la selección del enfoque de estudio se consideraron las observaciones de Gómez, Bojórquez, & Ruiz (2007), quienes sugieren la aplicación del enfoque adaptativo para el análisis de confort térmico en espacios naturalmente ventilados, ya que éste considera sujetos reales en su entorno natural; al contrario, el enfoque predictivo analiza sujetos seleccionados en un ambiente controlado, lo cual subestima su capacidad de adaptación. Cabe mencionar que también se analizaron los casos análogos mencionados en el apartado 2.2, donde Rijal (2013) y Wang, et al., (2010) demostraron la capacidad de adaptación de los sujetos en regiones de clima templado, durante la temporada de verano por medio de la ventilación natural de los espacios.

#### **4.1.2 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación fue determinado por la selección del enfoque de estudio. En la **Tabla 17** se explican los tipos de diseño que existen. El enfoque predictivo se apoya del tipo “experimental”, el cual requiere la manipulación intencional de una acción (variable) para analizar sus posibles resultados (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006). El enfoque adaptativo se apoya del tipo “no experimental”, el cual observa las variables y recolecta datos para poder describir el fenómeno. El estudio de confort térmico bajo éste enfoque, establece su metodología en el análisis correlacional de variables.

Tabla 17 Diseño de investigación no experimental					
ENFOQUE	TIPO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	OBJETIVO	DISEÑOS
Predictivo	Experimental	Preexperimentos	Es utilizado para estudios exploratorios.	No es apto para establecer causalidad, grado de control es mínimo.	Estudio de caso
					Preprueba-posprueba
		Experimento “puro”	Reúnen dos requisitos para control y validez: grupos de comparación y equivalencia de grupos.	Establecer causalidad entre las variables dependientes e independientes. Incluyen más de una variable dependiente e independiente.	Posprueba y grupo de control
					Preprueba-posprueba y grupo de control
					Cuatro grupos de Solomon
					Serie cronológica múltiple
					Factoriales
		Cuasiexperimento	No tienen equivalencia de grupos: los grupos son previos al experimento.		-
Adaptativo	No experimental	Transversal	Recolección de datos en un momento único	Describir 1 o + variables y analizar su incidencia o interrelación en un momento dado	Exploratorios
					Descriptivos
					Correlacionales
		Longitudinal	Recolección de datos a través del tiempo	Realizar inferencias de los cambios de 1 o + variables, así como las causas y efecto	De tendencia
					De evolución
					Panel

Fuente: Elaborado a partir de: Hernández Sampieri, et al., 2006

Dicho lo anterior, el tipo “No experimental” se clasifica en transversal y longitudinal. La clasificación transversal se divide en tres diseños: 1) Exploratorio: su propósito es comenzar a conocer o explorar 1 o + variables, y usualmente se aplica en problemas de investigación poco conocidos; 2) Descriptivo: su objetivo es indagar la incidencia de 1 o + variables en un grupo de personas para describir el fenómeno; 3) Correlacionales: establecen y describe la relación entre 2 o + variables en un momento determinado y suelen ser causales, es decir, pretenden analizar las relaciones causales entre variables. El diseño correlacional – causal primero es descriptivo (de las variables individuales de la investigación) y después establece las relaciones entre estas.



La clasificación longitudinal también se divide en tres: 1) De tendencia y 2) De evolución: su objetivo es analizar el cambio en una población o subgrupo (específico) a través del tiempo y éste se evalúa colectivamente sobre una muestra diferente aunque equivalente; 3) De panel: Es muy similar a los anteriores pero en este caso la población es medida u observada todo el tiempo (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006).

Con base en la descripción y comparación hecha anteriormente, y las necesidades de la investigación: conocer la sensación térmica percibida en el interior viviendas por una población determinada en los periodos climáticos representativos de la zona; se determinó la selección del tipo de estudio transversal con diseño correlacional.

#### ***4.1.3 Variables e Instrumentos***

Las variables a medir se eligieron en función al efecto que tiene en la percepción térmica, así como en el análisis a la normativa para confort térmico en interiores, los métodos existentes y los casos análogos. Para la selección de instrumentos se consideró precisión, tiempo de estabilización, disponibilidad y accesibilidad.

Para el análisis de confort térmico interior, las normas ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004) e ISO 7726 (1998) sugieren medir: Temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad, velocidad de viento, temperatura del terreno y temperatura operativa.

En el trabajo de confort térmico en vivienda económica de Ruiz (2007) se midieron: Temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, velocidad de viento, temperatura de globo negro y humedad relativa; en el trabajo de Rijal (2013) sobre confort térmico adaptativo en casas japonesas, se midieron: temperatura del aire interior, temperatura de globo y humedad relativa; mientras que en el trabajo de Wang, et al, (2010) sobre confort térmico en viviendas naturalmente ventiladas en China, se midieron: temperatura del aire, humedad relativa y velocidad de viento.

Con base en lo anterior fueron seleccionadas las variables meteorológicas: Temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de globo negro, humedad relativa y velocidad de viento. Para la selección de instrumentos se consideraron tres aspectos importantes, los cuales se mencionan a continuación:

- Precisión: fue necesario considerar un margen de error menor a 1°C, debido a las implicaciones que esto puede tener en la percepción térmica. El clima de la ZMVM es templado subhúmedo (García, 1981), es decir no se cuenta con condiciones extremas de temperatura ni humedad, por lo que no fue relevante considerar los rangos de registro.
- Tiempo de estabilización: por la necesidad de reducir el tiempo de aplicación por encuesta fue importante considerar que los rangos de estabilización del equipo no fueran mayores a 10 minutos, debido a la muestra aleatoria del trabajo de campo.
- Disponibilidad y accesibilidad: con la finalidad de ahorrar tiempo para el inicio de la investigación, se buscaron instrumentos comerciales disponibles en el mercado que cumplieran con los requerimientos anteriores; accesibilidad se refiere al costo del equipo.

En la **Tabla 18** se muestran las variables que se midieron en el estudio, las unidades y los instrumentos o herramientas a utilizar.

<b>Tabla 18</b> Variables a medir e instrumentos				
ENFOQUE DE ESTUDIO	VARIABLES	PARAMETRO	UNIDAD	INSTRUMENTO/ HERRAMIENTA
Adaptativo	Climáticas	Temperatura de bulbo seco	°C	Monitor de estrés térmico
		Temperatura de globo	°C	
		Temperatura de bulbo húmedo	°C	
		Humedad relativa	%	
		Velocidad de viento	m/seg	Anemómetro de hilo caliente con registro de datos
	Fisiológicas	Edad	años	Cuestionario
		Genero	-	Cuestionario
		Estatura	m	Flexómetro
		Peso	kg	Báscula portátil
		Actividad	W/m2	Cuestionario
	Psicológicas	Adaptación	-	Cuestionario
		Historial climático	-	Cuestionario
	Sociales	Arropamiento	clo.	Visual-cuestionario

*Fuente: elaboración propia*

Los instrumentos seleccionados y sus características se describen a continuación:

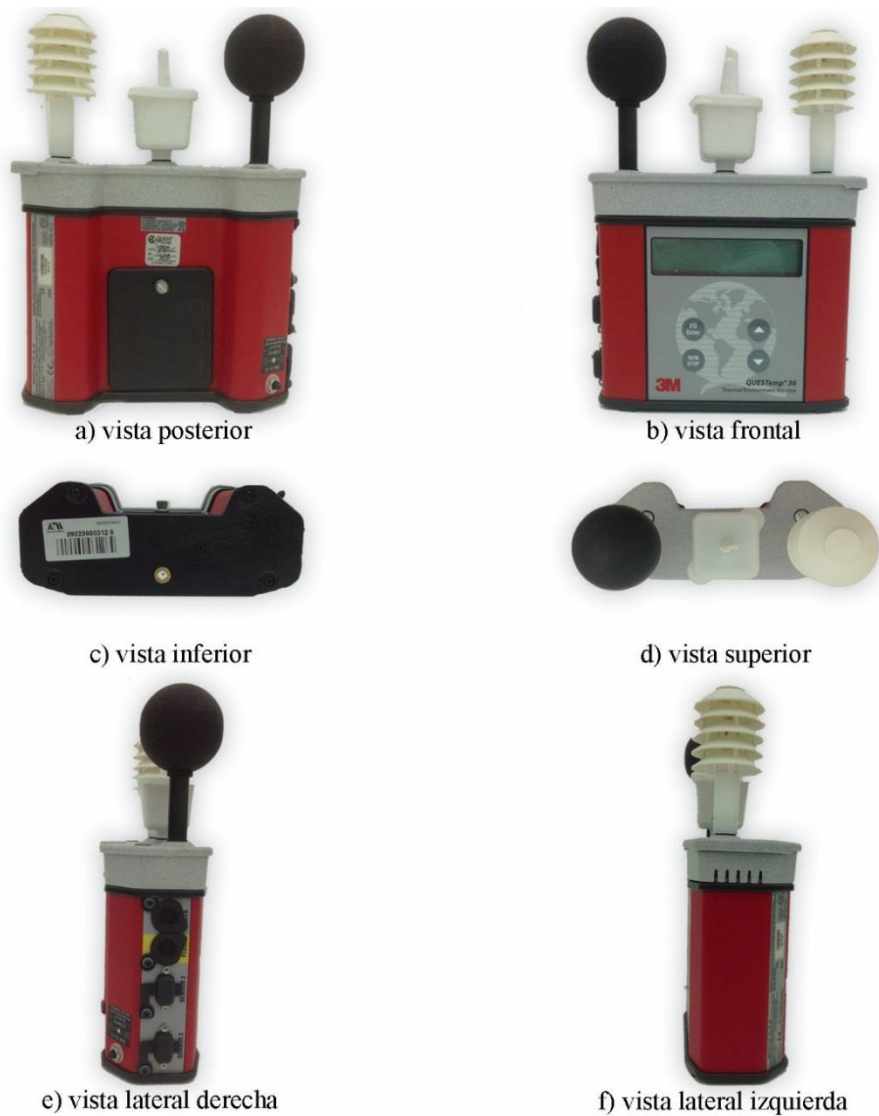
○ *Monitor de estrés térmico*

Éste instrumento está diseñado para ayudar a evaluar en forma rápida y exacta el estrés térmico que existe en el ambiente. Tiene sensores de bulbo seco, bulbo húmedo, de globo y una sonada de viento externa opcional, la cual no fue utilizada en esta investigación por el costo y tiempo de entrega. El equipo se colocó en un trípode plegable de aluminio para facilitar su colocación a la altura indicada en la **Tabla 19**, así como su transportación durante el trabajo de campo. La **Figura 9** muestra las diferentes vistas del equipo.

Las características específicas y consideraciones del equipo se muestran en la **Tabla 19**:

<b>Tabla 19</b> Especificaciones técnicas y consideraciones del monitor de estrés térmico	
ESPECIFICACIONES	
Medición	Temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, temperatura de globo, humedad relativa, velocidad de viento, índice TGBH (interiores), índice TGBH (exteriores), índice de calor/HUMIDEX
Sensores	Bulbo seco: RTD de platino de 1000 ohmios; Exactitud y alcance: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre $0^{\circ}\text{C}$ y $120^{\circ}\text{C}$ Bulbo húmedo: RTD de platino de 1000 ohmios; Exactitud y alcance: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre $0^{\circ}\text{C}$ y $120^{\circ}\text{C}$ Globo: RTD de platino de 1000 ohmios; Exactitud y alcance: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre $0^{\circ}\text{C}$ y $120^{\circ}\text{C}$ Humedad relativa, exactitud y alcance: $\pm 5\%$ entre 20 y 95%
Dimensión/Peso	0.234 x 0.183 x 0.076m / 1.2 kg
CONSIDERACIONES	
Medición	El centro de los sensores debe colocarse a una altura promedio de 1.30m para individuos de pie, y a 0.60m para individuos sentados. Considerar 10 minutos de estabilización de los termómetros antes de hacer la lectura. Verificar que el aparato registre más de 6volts de pila para evitar errores en el registro de datos
Sensores	Se debe colocar el equipo mínimo a 0.80m de distancia de fuentes emisoras de calor o radiación directa. Es necesario llenar el recipiente del sensor de bulbo húmedo con agua destilada y colocar la mecha limpia y mojada.
Transportación	Durante el trabajo de campo es necesario sombrear el equipo para evitar la radiación directa en el sensor de globo negro y mantener el equipo vertical para no derramar el agua destilada del sensor de bulbo húmedo.

*Fuente: ISO 1130 (2005), Manual de operación QUESTemp36 3M (2004)*



**Figura 9** Monitor de estrés térmico

*Fuente: Figueroa, 2014*

○ *Anemómetro de hilo caliente con registro de datos*

Para el registro de la velocidad de viento interior, se utilizó un anemómetro de hilo caliente con registrador de datos. Cabe mencionar, que a pesar de que el monitor de estrés térmico antes mencionado cuenta con la conexión de la sonda para registro de velocidad y dirección de viento, por cuestiones de disponibilidad y accesibilidad se eligió el anemómetro de hilo caliente que se muestra en la **Figura 10**.



a) Registrador de datos- vista frontal



b) Registrador de datos- vista posterior



d) Registrador de datos- vista superior



e) Registrador de datos- vista inferior



f) Anemómetro de hilo caliente

**Figura 10** Anemómetro de hilo caliente y registrador de datos

*Fuente: Figueroa, 2014*

Las características específicas de estos equipos se describen en la **Tabla 20**

<b>Tabla 20</b> Especificaciones técnicas y consideraciones del anemómetro de hilo caliente con registrador de datos		
ESPECIFICACIONES		
Instrumento	Registrador de datos	Anemómetro de hilo caliente
Medición	Las entradas permiten el registro de temperaturas, humedad y velocidad de viento	Velocidad de viento – temperatura del aire
Sensores	3 entradas con clavijas de 8 polos	Termistor NTC
Precisión	Desviación máx.1 minuto/mes	±0.05m/s de 0 a 0.99m/s ± 0.02 m/s de 1 a 9.99 m/s ±0.6 m/s de 10 a 40 m/s
Dimensiones	0.245 x 0.10 x 0.05m	Hasta 2.00m
Peso	0.300kg	-
CONSIDERACIONES		
Medición	El centro del termistor debe colocarse a una altura promedio de 1.30m para individuos de pie, y a 0.60m para individuos sentados. Considerar 10 minutos de estabilización de la sonda caliente antes de hacer la lectura.	
Sensores	Colocar el sensor (termistor) en sentido del viento dominante.	
Transportación	Durante el trabajo de campo es necesario apagar el equipo o cubrir el termistor para no alterar el registro de viento por movimiento.	

*Fuente: ISO 1130 (2005), Manual de operación Delta OHM (2010)*

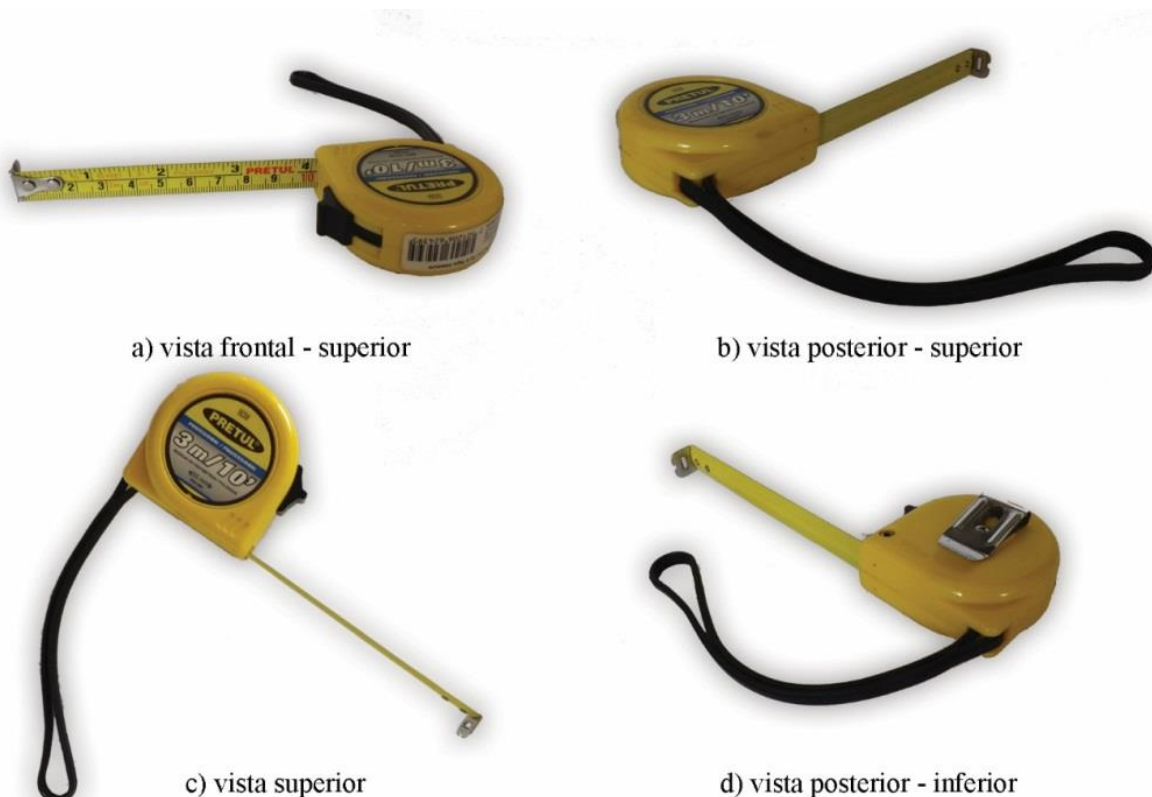
○ *Báscula portátil y flexómetro*

La estatura y peso de los sujetos se midió con un flexómetro de 3.0m y una báscula portátil con perilla auto-regulable para calibración. La selección de los instrumentos fue por precisión, disponibilidad y accesibilidad. Cabe mencionar que solo se contó con una báscula portátil, sin embargo cada encuestador tenía un flexómetro para agilizar las mediciones en caso de que se encontraran más de dos sujetos por vivienda.

La **Tabla 21** muestra las especificaciones técnicas y consideraciones de ambos instrumentos; en la **Figura 11** las del flexómetro y en la **Figura 12** se muestran diferentes vistas de la báscula portátil.

Tabla 21 Especificaciones técnicas y consideraciones de la báscula portátil y flexómetro		
ESPECIFICACIONES		
Instrumento	Báscula portátil	Flexómetro
Dimensiones / peso	0.265 x 0.260 x 0.06m / 1.5kg	0.055 x 0.055 x 0.023m / 0.100kg
Medición	0 – 120kg / 0 – 260lb	3.0m
Precisión	±1.2 kg de 0 a 65kg ±2.0 kg de 66 a 120kg	-
CONSIDERACIONES		
Medición	Evitar cargar peso mayor a 120kg. Verificar que la aguja este en 0kg/ 0lb Pesar con zapatos siempre y cuando el tacón no exceda 0.10m	Medir contra una superficie plana (muro o columna). Evitar contacto directo con el sujeto. Medir con zapatos siempre y cuando el tacón no exceda 0.10m
Transportación	No exponer el equipo a la lluvia o a golpes severos	

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 11** Vistas del flexómetro

*Fuente: Figueroa, 2014*



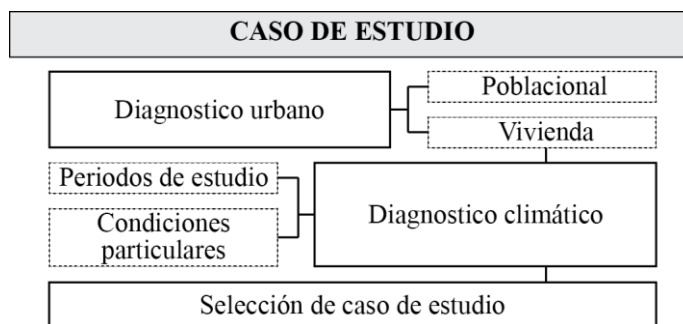
**Figura 12** Vistas de báscula portátil

*Fuente: Figueroa, 2014*

## 4.2 CASO DE ESTUDIO

La selección del caso de estudio, así como el diagnóstico urbano y climático de los municipios seleccionados, son importantes para conocer a los sujetos de estudio y las condiciones de las viviendas. La **Figura 13** muestra el proceso que se siguió en este apartado. El apartado 4.2.1 incluye un análisis de crecimiento poblacional y de vivienda en los últimos 10 años. En el 4.2.2 se determinó los periodos de estudio, y muestra las condiciones climáticas particulares que se dieron durante el trabajo de campo.





**Figura 13** Esquema de la selección de caso de estudio

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2.1 Diagnostico Urbano**

Para la selección del caso de estudio fue importante realizar un diagnóstico urbano de la zmvm para determinar los municipios con mayor número de viviendas de producción en serie construidas en los últimos 10 años y el impacto en la población que esto produjo.

En la **Tabla 22** se muestra un listado de los municipios de la zmvm con mayor porcentaje de crecimiento al 2010 (INEGI, 2013); y el número de viviendas de producción en serie construidas en el periodo 2000-2012 (Secretaria, 2013). Como se puede observar, los municipios que presentaron el mayor porcentaje de crecimiento, no fueron los que presentaron mayor número de viviendas construidas.

Los criterios para la selección de los municipios fueron:

- Seguridad: Debido a las condiciones sociales y políticas de la zona, se seleccionaron municipios que no tuvieran conflictos vecinales. Esto con la finalidad de facilitar la aceptación del trabajo de campo en los desarrollos habitacionales, como para brindar seguridad a los encuestadores y al equipo de medición utilizado.
- Cercanía: Se buscó que los municipios estuvieran dentro de un radio no mayor a 15km para facilitar la transportación de los encuestadores y del equipo. Así como también evitar variaciones representativas en las variables climáticas (TBS, TBH, TGN, HR, VV) a medir durante el trabajo de campo.
- Representatividad: Para la selección de los municipios fue importante que presentaran un porcentaje de crecimiento mayor a 3% y más de 5,000 viviendas construidas (Ver **Tabla 22**).

<b>Tabla 22</b> Porcentaje de crecimiento y número de viviendas construidas por municipio				
NÚMERO DE HABITANTES		MUNICIPIO	% DE CRECIMIENTO	NO. DE VIVIENDAS PERIODO 2000-2012
2005	2010			
77035	136558	Acolman	44%	15,301
59721	100023	Huehuetoca	40%	68,869
270574	364579	Tecámac	26%	132,275
67724	88559	Tepotztlán	24%	5,464
110345	140059	Cuautitlán	21%	27,834
127988	159647	Zumpango	20%	87,710
257403	310130	Chalco	17%	45,319
306516	366602	Nicolás Romero	16%	15,012
110145	131567	Tultepec	16%	12,824
525389	614453	Chimalhuacán	14%	0
209308	235151	Texcoco	11%	254
232546	253845	La Paz	8%	930
429033	467361	Ixtapaluca	8%	12,458
224042	242167	Huixquilucan	7%	1,652
332279	357645	Valle de Chalco Solidaridad	7%	4,336
472526	489937	Atizapán de Zaragoza	4%	0
472867	486998	Tultitlán	3%	7,305
170035	175053	Chicoloapan	3%	46,383
498021	511675	Cuautitlán Izcalli	3%	12,964
821442	833779	Naucalpan de Juárez	1%	154
1688258	1656107	Ecatepec de Morelos	-2%	33,366
285943	278064	Coacalco de Berriozábal	-3%	15,468
683808	664225	Tlalnepantla de Baz	-3%	3,736

*Fuente: Instituto de Vivienda del Distrito Federal INVI ( 2013), INEGI (2013)*

#### **4.2.2 Diagnóstico Climático**

Para la selección de los municipios fue necesario conocer las temperaturas anuales, con la finalidad de elegir aquellos que presentaran condiciones similares, y garantizar que los habitantes estuvieran adaptados a las mismas. Con base en lo antes dicho y los criterios de selección mencionados en el apartado 4.2.1, se seleccionaron los municipios que se presentan a continuación en la **Tabla 23**. También se observan las temperaturas mínimas, medias y máximas anuales de cada municipio, donde es importante mencionar que la diferencia entre ellas es menor a 1.5 °C.

<b>Tabla 23</b> Temperatura mínima, media y máxima anual por municipio					
MUNICIPIO	% DE CRECIEMINETO	NO. DE VIVIENDAS PERIODO 2000-2012	T-MIN ANUAL	T-MEDIA ANUAL	T-MAX ANUAL
Tecámac	26%	132275	6.9	15.6	24.4
Huehuetoca	40%	68869	6.1	14.9	23.5
Nicolás Romero	16%	15012	6.9	15	23.1
Cuautitlán Izcalli	3%	12964	7	15.6	24.1
Tultitlán	3%	7305	5.6	14.5	23.2

*Fuente: INVI (2013), INEGI (2013), Normales Climatologicas SMN*

- *Definición de periodos de estudio*

Para definir los periodos climáticos de estudio, se aplicó la ecuación de Brager y de Dear (2001) propuesta para ASHRAE Standard 55 a las temperaturas medias mensuales. En la **Figura 14** se presenta la gráfica de las temperaturas mínimas, medias y máximas mensuales de los municipios seleccionados antes mencionados y la temperatura de confort sugerida por los autores, así como la zona de confort  $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ . Se observa que las temperaturas mínimas y medias mensuales están por abajo de la temperatura neutral y zona de confort; sin embargo se pueden definir el periodo de sobre calentamiento a partir de las temperaturas máximas.

$$T_{\text{comf}} = 0.31 \times T_{\text{a,out}} + 17.8 \quad (6)$$

En donde:

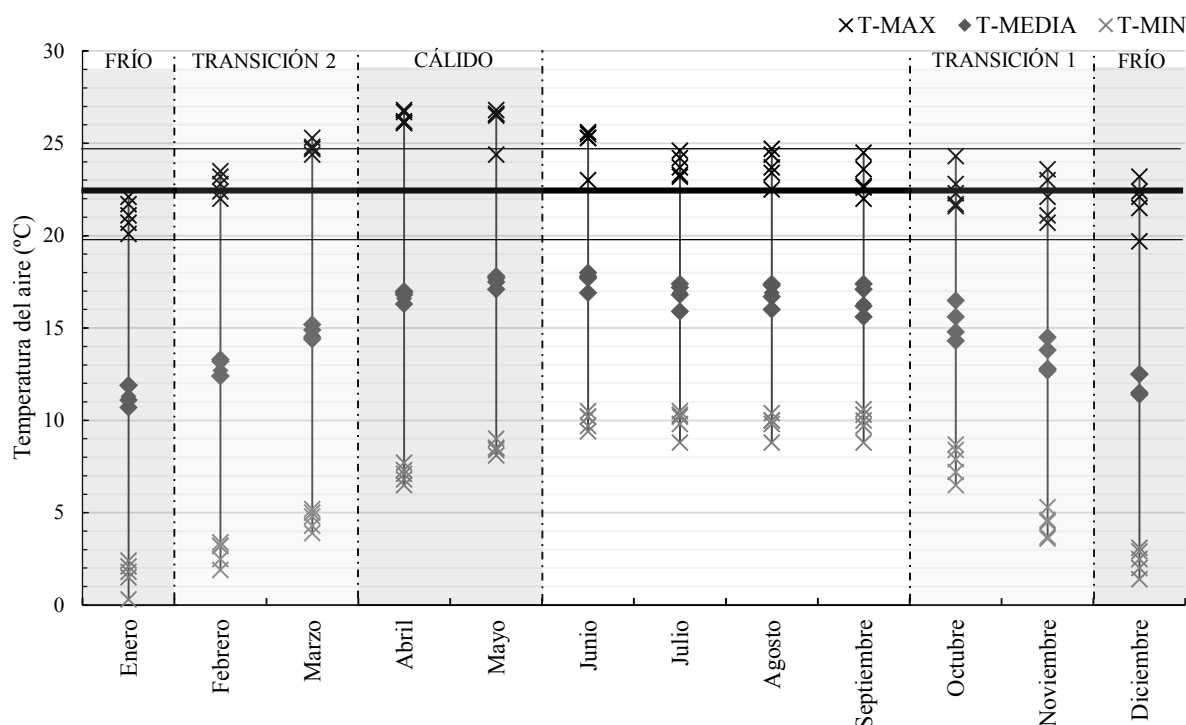
$T_{\text{comf}}$ = Temperatura de Confort

$T_{\text{a,out}}$ = Temperatura de bulbo seco exterior

El periodo frío o de bajo calentamiento, se determinó para los meses de diciembre y enero. Como se observa en la **Figura 14** son los meses que presentan las temperaturas mínimas y medias más bajas. Y en el caso de las máximas, están por debajo de la temperatura neutral sugerida para la mayoría de los municipios.

El periodo cálido o de sobrecalentamiento, se determinó para los meses de abril y mayo. En la gráfica se observa claramente que en estos meses las temperaturas máximas se elevan hasta  $2^{\circ}\text{C}$  de la zona de confort sugerida. Junio presenta un comportamiento similar, sin embargo la temporada de lluvias podría afectar el trabajo de campo, por lo que este mes no se tomó en cuenta.

Los periodos de transición se dividieron en dos; 1) Transición de cálido a frío, para los meses de octubre y noviembre; a pesar de que los meses julio, agosto y septiembre muestran un comportamiento estable, presentan el mismo problema de junio en la temporada de lluvias; 2) Transición de frío a cálido, para los meses de febrero y marzo.



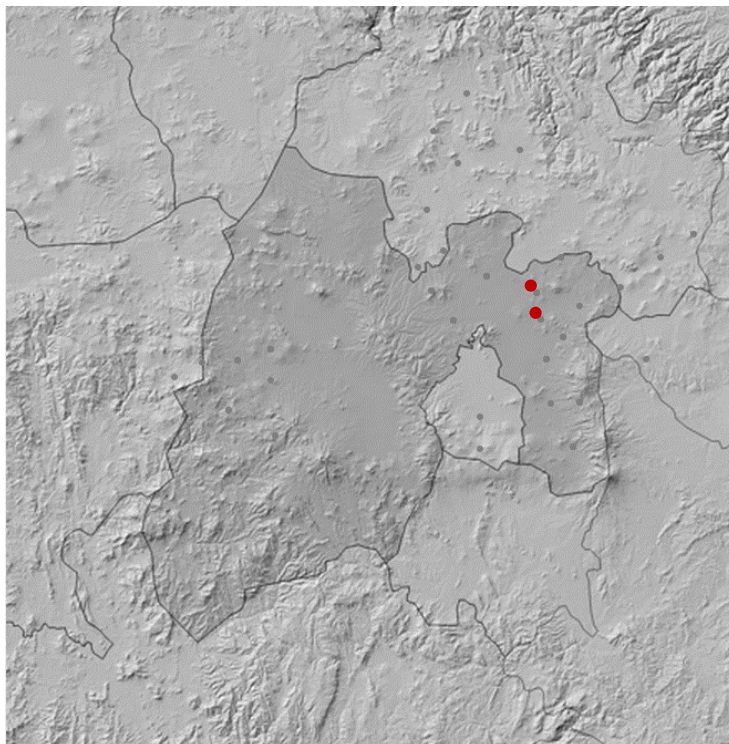
**Figura 14** Definición de periodos de estudio

*Fuente: Elaboración propia con base en normales climatológicas del SMN*

- *Análisis de las condiciones climáticas particulares*

En capítulos anteriores se analizó del clima y bioclima en general de la ZMVM; en éste apartado se han presentado las temperaturas proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional por medio de las normales climatológicas registradas en un periodo de 29 años (1981-2010); por lo que es importante conocer las condiciones climáticas particulares, que se dieron durante el trabajo de campo para poder entender el comportamiento del clima y los resultados.

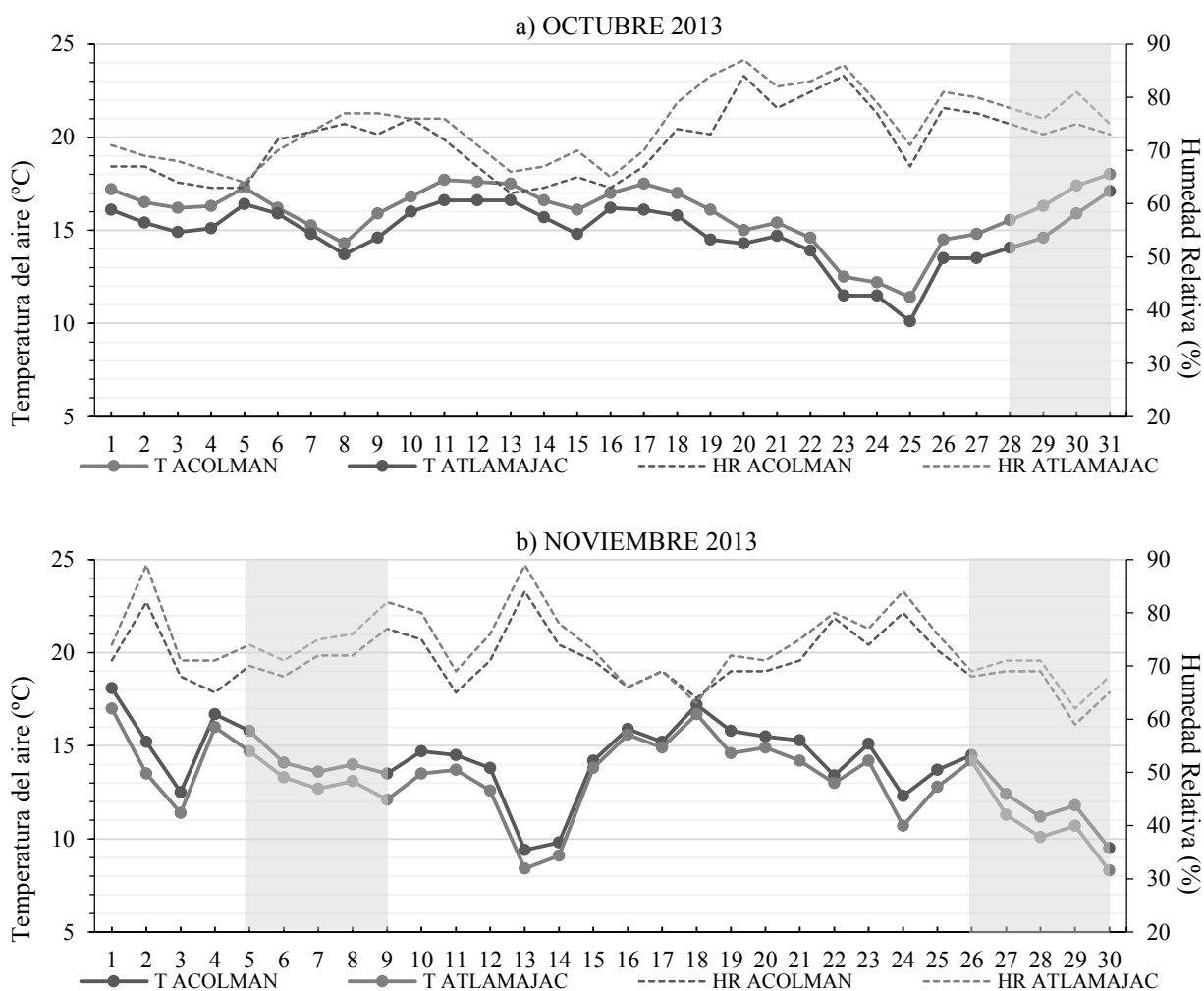
La **Figura 15** muestra la ubicación de las Estaciones Meteorológicas Automáticas de las cuales se obtuvieron los datos diarios de temperatura del aire y humedad relativa del periodo octubre 2013 - mayo 2014. Los datos fueron procesados mensualmente para facilitar su lectura y se presentan periodo.



**Figura 15** Ubicación de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs)

*Fuente: SMN (2014)*

El primer periodo de mediciones y trabajo de campo fue el de **Transición 1**, que se realizó en octubre y noviembre del 2013. Como se observa en la **Figura 16** las condiciones de temperatura y humedad en estos meses fueron muy similares; las temperaturas oscilaron entre 8 °C y 18 °C y las humedades entre 60% y 90%. Las franjas grises que se observan en las gráficas a y b de la **Figura 16** representan los días que se realizó el trabajo de campo en este periodo. Como se muestra en la gráfica b.16 en el mes de noviembre se tuvieron dos etapas de trabajo, ya que las condiciones climáticas a partir del día 12 fueron inestables, es decir, se presentaron días atípicos con condiciones de alta humedad y bajas temperaturas; a pesar de que los últimos días de medición en este periodo fueron similares a lo antes mencionado, los días precedentes fueron estables por lo que se podría decir que los sujetos estaban adaptados a las condiciones climáticas según lo establecido por Mondelo (2001).

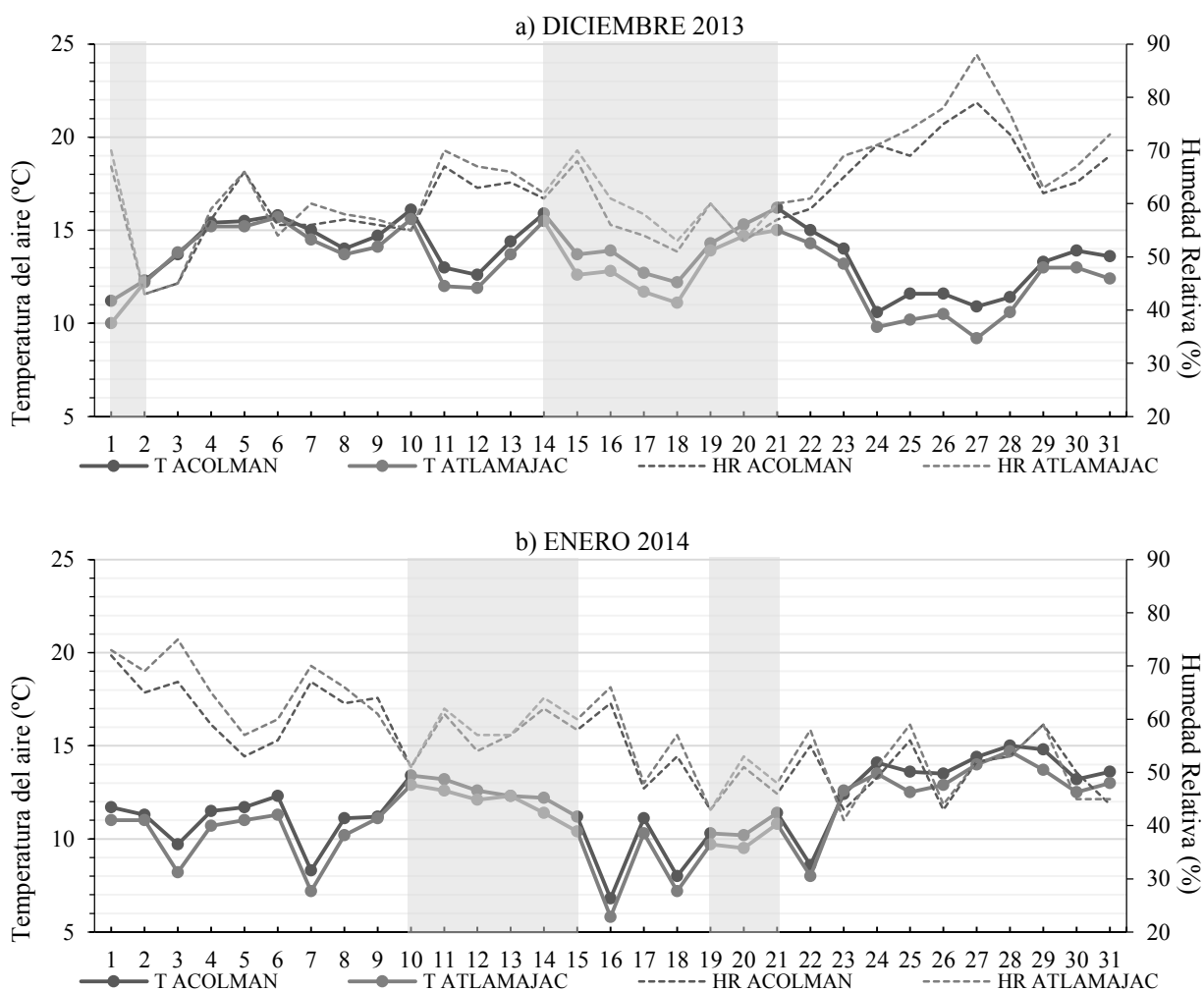


**Figura 16** Temperatura del aire y humedad relativa diaria, periodo de Transición 1

*Fuente: Elaboración propia con datos climáticos del SMN*

El segundo periodo de medición fue el **Frío**, el cual se realizó en los meses de diciembre 2013 y enero 2014, las temperaturas oscilaron entre 6 °C y 16 °C y las humedades entre 40% y 75%; sin embargo en la gráfica se observa que el día 27 de diciembre se presentaron condiciones de humedad y temperatura atípicas.

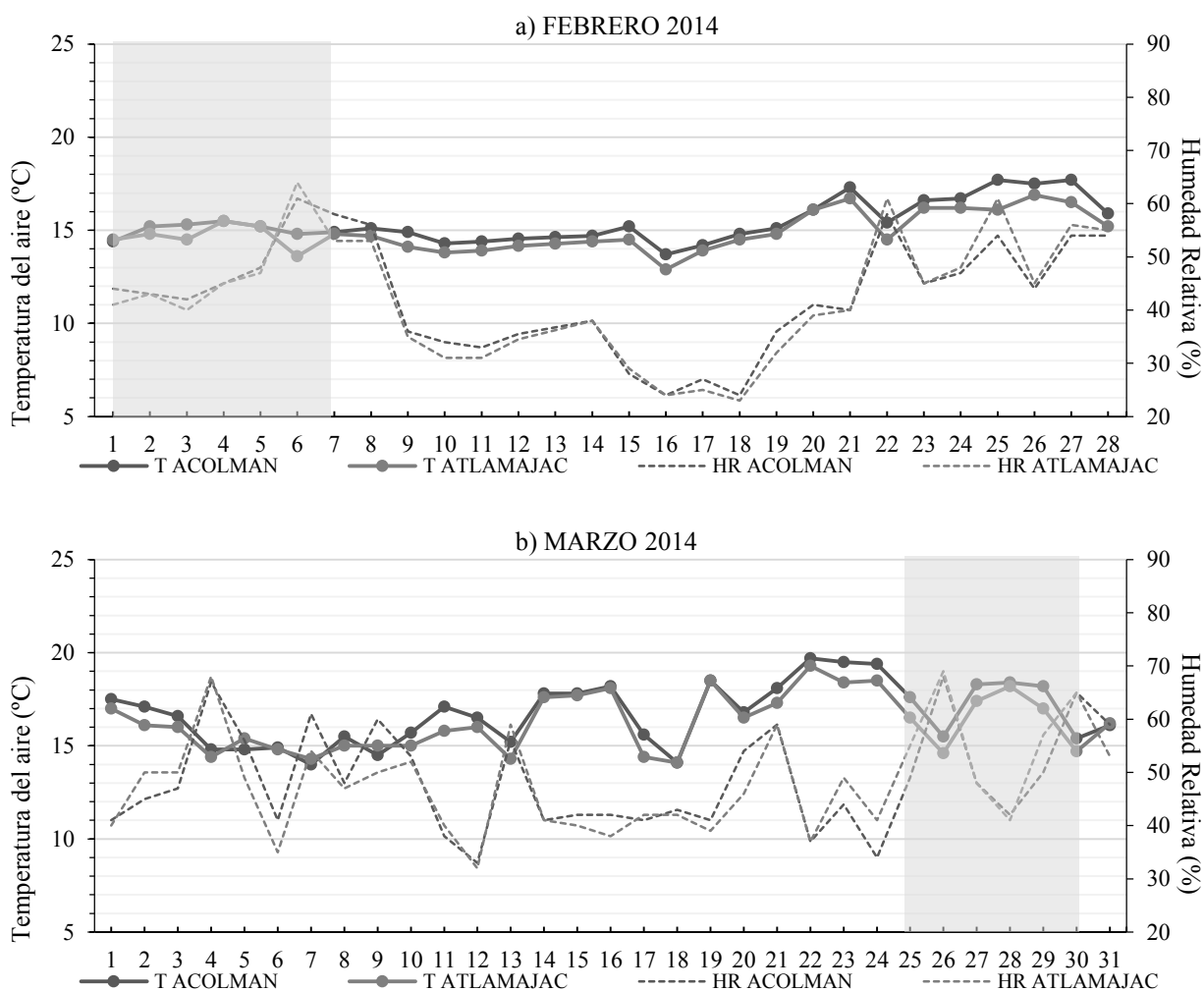
En la etapa de medición de diciembre se presentaron condiciones climáticas estables, con una oscilación de temperatura menor a 5°C. Sin embargo en el mes de enero se presentó la misma situación que en el mes de noviembre durante el periodo de Transición 1, y debido a las condiciones atípicas de temperatura y humedad fue necesario dividir la etapa de medición en dos (Ver grafica b **Figura 17**).



**Figura 17** Temperatura del aire y humedad relativa diaria, periodo Frío

*Fuente: Elaboración propia con datos climáticos del SMN*

El tercer periodo de medición fue **Transición 2**, y se llevó a cabo en febrero y marzo 2014. En el grafica se observa que en el mes de febrero la humedad no supero el 50%, sin embargo se presentaron días secos en los cuales oscilo entre los 40% y 10%. Por el contrario, la temperatura presento un comportamiento uniforme y estable a lo largo del mes con oscilaciones menores a 5 °C. De igual manera, se observan pequeñas fluctuaciones de temperatura y humedad en el mes de marzo, lo cual es normal para un mes de transición entre frío y calor, en el cual algunos días las temperaturas se elevan hasta los 19 °C. La etapa de medición en este mes se realizó los días finales, para que los sujetos de estudio estuvieran adaptados a las condiciones antes mencionadas (Ver **Figura 18**).

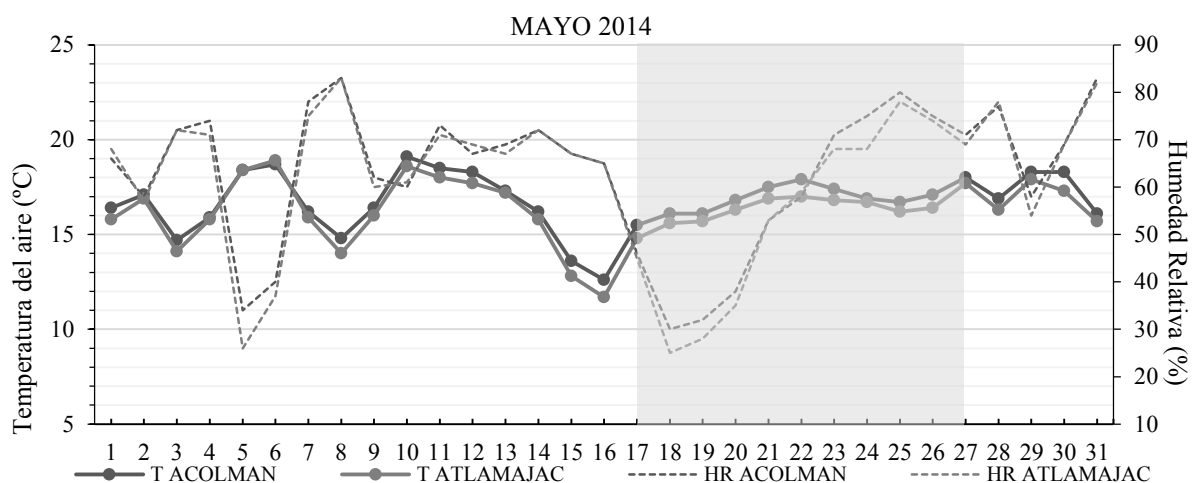


**Figura 18** Temperatura del aire y humedad relativa diaria, periodo de Transición 2

*Fuente: Elaboración propia con datos climáticos del SMN*

El último y cuarto periodo de medición fue el **Cálido**, y se llevó a cabo durante el mes de mayo 2014. Fue un mes poco cálido, con temperaturas entre 12 °C y 19 °C y humedades entre 25% y 85%. En los primeros días del mes se presentaron lluvias aisladas, lo cual se puede observar en la **Figura 19**. Para poder realizar el trabajo de campo, se esperó a que el clima fuera estable y no se presentaran lluvias. Sin embargo, debido a lo antes mencionado, los sujetos no tuvieron el tiempo necesario para adaptarse a las condiciones climáticas dadas, lo cual se ve reflejado en los resultados.





**Figura 19** Temperatura del aire y humedad relativa diaria, periodo Cálido

*Fuente: Elaboración propia con datos climáticos del SMN*

#### 4.2.3 Selección de caso de estudio

Para la selección del caso de estudio, fue importante conocer las tipologías de vivienda de construcción en serie más comunes, en los municipios seleccionados anteriormente; ya que algunas presentaron variaciones significativas que superaban las condiciones que se requerían para su clasificación en el estudio. Con la finalidad de su clasificación, se elaboraron fichas técnicas de los desarrollos habitacionales que aparentemente cumplieran con las características necesarias (Ver ANEXO A).

Las fichas se componen de cuatro grupos que se explican a continuación:

- I. *Ubicación:* Nombre del fraccionamiento, número de viviendas construidas, fraccionador, municipio donde se ubica y clima. El objetivo de este grupo, fue identificar la ubicación de los desarrollos, la capacidad de sujetos potenciales para el estudio y clasificar a los fraccionadores.
- II. *Datos generales de la vivienda:* Área de terreno, área construida, número de niveles en la construcción original, principales orientaciones de las viviendas y antigüedad del desarrollo. Esta información fue útil para facilitar la clasificación de las viviendas por dimensiones e identificar los desarrollos con las orientaciones óptimas para el estudio.

- III. *Características de la envolvente:* Materiales y espesores de los muros y losas de las viviendas. El identificar los materiales comúnmente utilizados, facilitó la clasificación y selección de desarrollos.
- IV. *Croquis de la vivienda:* Esta información gráfica fue importante para conocer las dimensiones de las viviendas, la distribución de espacios, la ubicación de las aberturas y la conexión con el entorno inmediato.

Para la selección de los desarrollos habitacionales y con base en los datos contenidos en las fichas técnicas, se consideraron los siguientes requerimientos: más de 1,000 viviendas construidas por desarrollo, para tener un amplio universo de sujetos potenciales en cada uno; que las viviendas presentaran las mismas orientaciones y materiales de construcción para generalizar el desempeño térmico de los materiales, y tipologías de construcción similares entre sí. En la **Tabla 24** se muestran los desarrollos habitacionales seleccionados por municipio y un resumen de las características antes mencionadas de las viviendas; en la **Figura 20** se pueden observar las plantas de las tres tipologías de vivienda seleccionadas y la imagen actual de las fachadas.

<b>Tabla 24</b> Características de las viviendas por desarrollo y municipio						
MUNICIPIO	DESARROLLO HABITACIONAL	ÁREA (m <sup>2</sup> )		PLANTAS	MUROS	LOSAS
		LOTE	VIVIENDA			
Cuautitlán Izcalli	Cofradía I	58	70	2-3	0.10 m - CA	0.10 m - CA
Huehuetoca	Santa Teresa I	50	60	2-3	0.10m -CA 0.10m - BC	0.10 m - CA
Tultitlan	Portal San Pablo	50	60	2-3	0.10m -CA 0.10m - BC	0.10 m - CA
Tecámac	héroes Tecámac, Ciprés	50	60	2-3	0.10 m - CA	0.10 m - CA
Nicolás Romero	Bulevares del Lago	71	60	2-3	0.10 m - CA	VB, 0.10m- CA

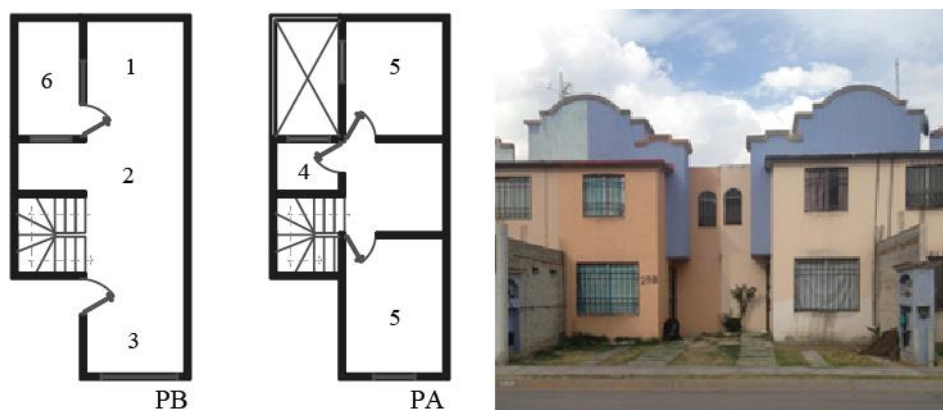
CA: Concreto armado

BC: Bloque de concreto

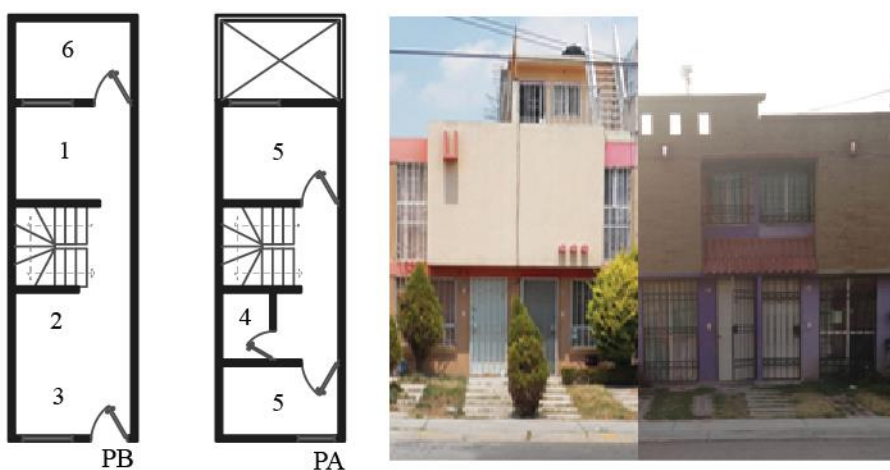
VB: Vigueta bovedilla

*Fuente: Elaboración propia*

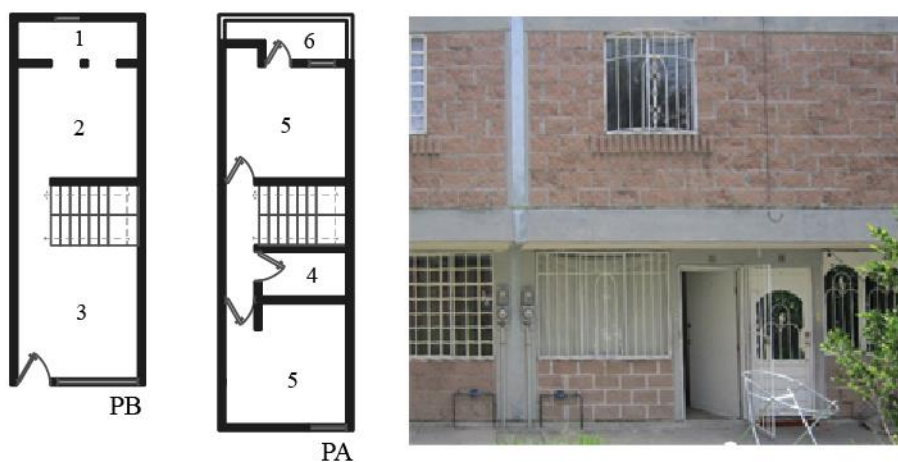
La **Figura 21** muestra la ubicación de los municipios dentro de la ZMVM, así como la de los desarrollos habitacionales seleccionados para realizar el trabajo de campo. En la parte inferior de la imagen se detallan las coordenadas exactas de cada desarrollo.



a) Plantas y fachadas de Cofradía I



b) Plantas y fachadas de Portal San Pablo, Santa Teresa I, Héroes Cipreses

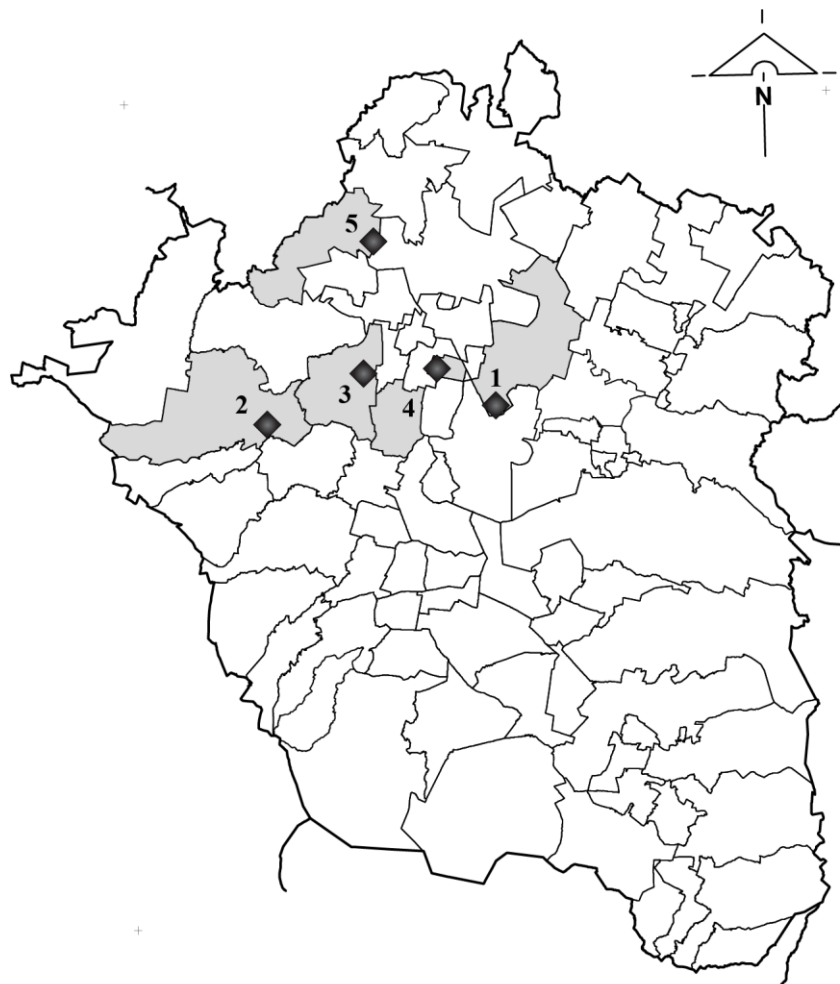


c) Plantas y fachadas de Bulevares del Lago

1: Cocina, 2: Comedor, 3: Sala, 4: Baño, 5: Recamara, 6: Patio de servicio, 7: Estancia, PB: Planta Baja, PA: Planta Alta

**Figura 20** Tipología de vivienda por desarrollo

*Fuente: Elaboración propia*



#	Municipio	Latitud (N)	Longitud (W)	Altura (msnm)
1	Tecámac	19°39'24"	99°01'02"	2,340
2	Nicolás Romero	19°34'52"	99°16'42"	2,360
3	Cuautitlán Izcalli	19°42'16"	99°13'09"	2,365
4	Tultitlán	19°41'03"	99°07'36"	2,245
5	Huehuetoca	19°50'55"	99°12'45"	2,258

**Figura 21** Ubicación de los municipios y desarrollos habitacionales dentro de la ZMVM

*Fuente: Elaboración propia con mapa de INEGI y coordenadas de SMN*

- *Selección de la muestra*

La selección de la muestra es de tipo probabilístico, es decir, los sujetos fueron elegidos al azar y de manera aleatoria dentro de los desarrollos habitacionales (Ver **Tabla 25**). Cabe mencionar que los sujetos a encuestar, fueron los que determinaron su participación en el estudio, por lo que la selección también fue determinística. Sin embargo hubo algunas consideraciones importantes para ello:

*Edad:* El rango de edad para los sujetos a analizar fue de 15 a 60 años. Mondelo (2001) dice que los mecanismos termoreguladores del ser humano se hacen menos eficientes con la edad. Para el caso de los niños y adolencetes, el metabolismo basal es mayor por los requerimientos energeticos de los sistemas, lo que puede afectar en la percepción termica del amebiente. Por lo anterior la edad de los sujetos fue determinante en el estudio.

*Salud:* El cuestionario se aplico a sujetos sanos; es decir, no se considerarán sujetos con enfermedades cronicas que pudieran alterar la percepción térmica del espacio.

*Historial térmico:* Los sujetos a evaluar debieron tener al menos un año de habitar en la vivienda para poder ser considerados. Lo anterior se determinó con el fin de asegurar que los sujetos estuvieran adaptados a las condiciones térmicas del espació y al clima de la región.

<b>Tabla 25</b> Tipo de muestra		
TIPO DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Probabilística	Todos la población tiene la misma posibilidad de ser escogida	Estratificada
		Por racimos
No probabilística	La selección de la muestra no depende de la probabilidad, si no de las características de la investigación	Al azar
		Multietapa

*Fuente: Hernández Sampieri, et al., 2006*

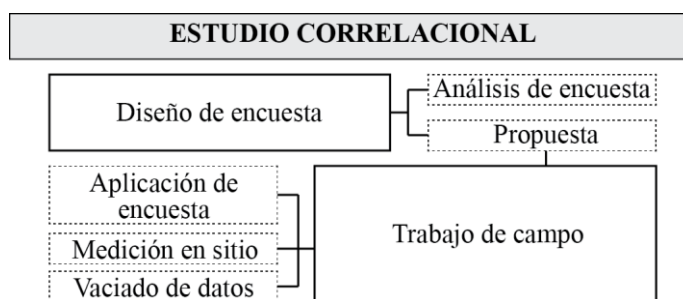
El tamaño mínimo de la muestra representativa es de 385 observaciones. La muestra se calculó con valores estadísticos de 5% de error estándar y 95% de intervalo de confianza, con base a la población registrada en los municipios seleccionados con edades entre 15 y 60 años (Ver **Tabla 26**).

<b>Tabla 26</b> Población por municipio para cálculo de muestra		
LOCALIDAD	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN 15 Y 60 AÑOS
Tecámac	364,579	291,663
Nicolás Romero	366,602	293,281
Cuautitlán Izcalli	511,675	409,340
Huehuetoca	100,023	80,018
Tultitlan	486,998	389,599
TOTALES	1,829,877	1,463,901

*Fuente: INEGI, 2013*

### 4.3 ESTUDIO CORRELACIONAL

En este apartado se describen los procesos que se siguieron para el diseño de la encuesta y el trabajo de campo, éste consistió en la aplicación de la encuesta, las mediciones en sitio y el vaciado de datos para su procesamiento. En la **Figura 22** se muestra el esquema que se siguió durante el proceso.



**Figura 22** Esquema del estudio correlacional

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.3.1 *Diseño de encuesta*

Para el diseño de la encuesta, se retomaron los criterios que propone Sampieri (2006) para el diseño de cuestionarios. A continuación se explican brevemente cada uno de ellos:

1. Las preguntas deben ser claras, precisas y en un lenguaje comprensible para los sujetos encuestados. Deben evitarse términos confusos, ambiguos y de doble sentido.
2. Deben de ser lo más breves posible; ya que las preguntas largas suelen resultar tediosas y pueden distraer al participante.
3. Deben formularse con un vocabulario simple, directo y familiar para los participantes.
4. Se debe evitar incomodar al sujeto encuestado, para que no sean percibidas como amenazantes y evitar que éste se sienta enjuiciado. Debemos inquirir de manera sutil.
5. Las preguntas deben referirse preferentemente a un solo aspecto o una relación lógica, es decir se debe evitar tratar dos temas diferentes en una sola pregunta.
6. Las preguntas no deben de inducir las respuestas. Se tienen que evitar preguntas tendenciosas o que dan pie a elegir un tipo de respuesta.

7. Las preguntas no pueden apoyarse en instituciones, ideas respaldadas socialmente ni en evidencia comprobada, ya que eso también es una manera de inducir respuestas.
8. Es aconsejable evitar preguntas que nieguen el asunto que se interroga; es decir, plantear una pregunta en negativo.
9. No deben hacerse preguntas racistas o sexistas, ni de ningún tipo que puedan llegar a ofender a los participantes.
10. En las preguntas con varias opciones de respuesta, y donde el sujeto solo tiene que elegir una, llega a ocurrir que el orden en el que se presentan dichas opciones afecta las respuestas de los participantes. Por lo que resulta conveniente rotar el orden de lectura de las respuestas a elegir.

En el apartado de casos análogos se habla acerca de las encuestas que fueron aplicadas y en las normas en las que se basaron para diseñarlas; a continuación se presenta a detalle el cuestionario del estudio *“Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y húmedo”* (Gómez Azpeitia, y otros, 2009), la cual fue utilizada para el desarrollo del cuestionario de la presente investigación.

El cuestionario fue diseñado por el grupo de investigación que realizó el proyecto para CONAVI, y fue responsable el Dr. Gabriel Gómez Azpeitia por la Universidad de Colima. A su vez, este cuestionario se basó en un estudio previo realizado por esta misma institución en el 2003, y fue modificado de acuerdo a la norma ISO 10551. El objetivo de dicho cuestionario fue conocer la sensación y preferencia térmica de los habitantes de vivienda económica en distintas localidades de México.

En el ANEXO B se muestra el ejemplo del cuestionario antes mencionado, el cual está estructurado en 6 partes: 1) Datos generales: en el cual se solicitan nombre del encuestador, del encuestado y la localización de la vivienda; 2) Datos temporales: para indicar la fecha y hora de realización de la encuesta; 3) Información de la vivienda: la cual se refiere a los dispositivos activos de climatización en el lugar; 4) Información del habitante: en la que se requieren datos personales del encuestado; 5) Información sobre la percepción del ambiente térmico: en esta parte se aplican preguntas cerradas de sensación térmica; 6) Datos de monitoreo físico: donde se registran las mediciones simultáneas a la encuesta.

El cuestionario de esta investigación se basó en la propuesta del proyecto “*Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y húmedo*” antes mencionado. Se adoptó la estructura básica y se realizaron algunas modificaciones pertinentes de acuerdo con los objetivos del proyecto. La escala de sensación y percepción térmica que se utilizó fue la propuesta por la norma ISO 10551 (1995). En la **Figura 23** se muestra el cuestionario desarrollado.

El cuestionario se estructuró en seis partes que se describen a continuación:

- I. Datos de encuesta: En este apartado se requieren los datos del municipio y fraccionamiento en donde se llevó a cabo la encuesta, con la finalidad de tener control de la aplicación de encuestas en cada localidad. También se solicitan la clave del encuestador, la cual se les asignó en la capacitación previa a las encuestas, y el folio, ya que a cada encuestador se le entregó un paquete con encuestas previamente foliadas para control interno el cual debían entregar al final cada jornada.
- II. Datos temporales: en esta parte se anotan los datos de fecha y hora de inicio y término de la encuesta.
- III. Información de la vivienda: Este grupo se divide en tres preguntas cerradas, sobre las condiciones en las que se encontró la vivienda en el momento de la encuesta; si había algún dispositivo activo o pasivo en función en ese momento y de qué tipo era, así como si había alguna ventana o puerta abierta para ventilar el espacio.
- IV. Información del habitante: En este apartado se preguntó al habitante por el tiempo de permanencia dentro de la vivienda, el tipo de actividad realizada en el momento previo a la encuesta; se registró el género de los sujetos, el tipo de vestimenta que usaban en ese momento y los datos de constitución física: peso, estatura y edad.
- V. Información sobre la percepción térmica del ambiente interior de la vivienda: esta sección compone de ocho preguntas cerradas de percepción, sensación, preferencia y tolerancia de las personas que habitan la vivienda respecto al ambiente térmico y se basa en la escala sugerida por la norma ISO 10551 (1995).
- VI. Datos de monitoreo físico: en este apartado se registraron los datos de las variables medidas (tbs, tbh, tgn, hr, vv) al interior de la vivienda durante la encuesta. Este apartado fue de llenado exclusivo del encuestador y la lectura de los equipos se tomó al final de cada encuesta.



En este trabajo se anexa el manual de aplicación de encuesta, en el cual se describe a detalle cada una de las preguntas y la manera correcta de aplicación. Este manual le fue entregado a cada uno de los encuestadores para la comprensión del estudio ANEXO C.

Posterior al diseño de cuestionario se realizó una prueba piloto para conocer el nivel de comprensión por parte de los encuestados y el desempeño de los encuestadores. Los encuestadores fueron alumnos de la carrera de arquitectura de la Universidad Autónoma Metropolitana, a los cuales se les dio una capacitación previa en donde se les explico el llenado del cuestionario, el manejo del monitor de estrés térmico y del anemómetro de hilo caliente, y se les entrego un paquete con las herramientas necesarias para el desarrollo del trabajo de campo.

#### ***4.3.1 Trabajo de campo***

El trabajo de campo fue una de las etapas más importantes, ya que del correcto levantamiento de las encuestas dependió la confiabilidad de la información para el estudio. Por lo anterior, antes de cada periodo se hizo una planeación, para determinar el número de cuestionarios a aplicar en cada localidad, los horarios de visita a los desarrollo habitacional, preparar el material necesario y conocer la disponibilidad de los encuestadores.

El trabajo de campo tuvo como limitante el equipo de medición (monitor de estrés térmico y un anemómetro de hilo caliente), ya que solo se consiguió uno de cada uno por medio de la Universidad Autónoma Metropolitana. Por lo que únicamente se podían realizar encuestas en una vivienda a la vez. Se formaron dos equipos de dos encuestadores y un coordinador los cuales fueron rotados de acuerdo a su productividad y disponibilidad, para equilibrar el número de encuestas realizadas por día.

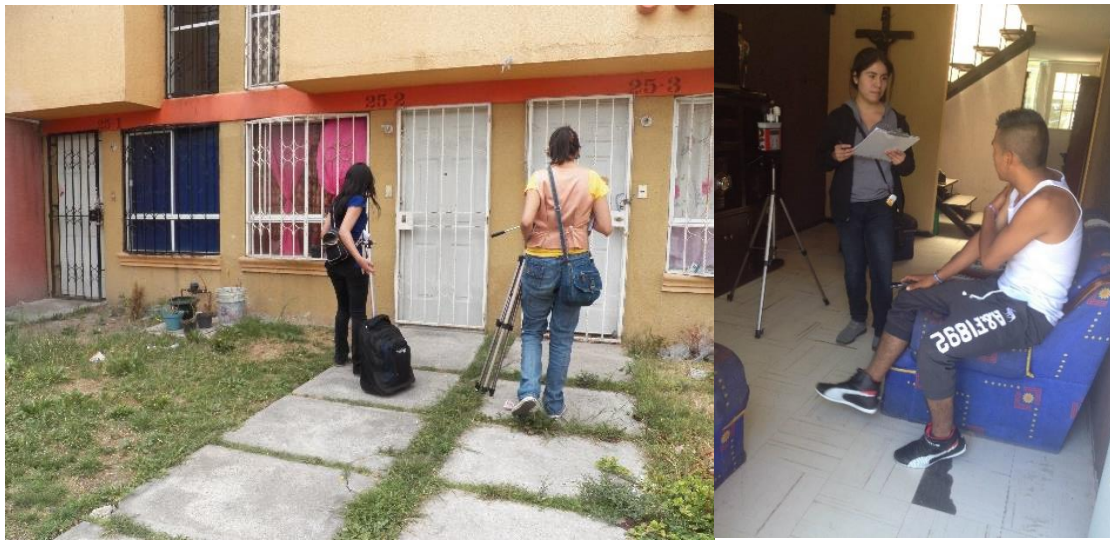
Las encuestas se aplicaron en un horario de 9:00 a las 19:00 horas, de lunes a domingo. Sin embargo de las 14:00 a las 15:30 horas se realizaba un descanso para que los encuestadores ingirieran alimentos, al igual que los sujetos a encuestar; ya que como resultado de la prueba piloto se observó que en dicho horario no había disposición de participación. La **Figura 24** muestra el proceso del trabajo de campo.

**EVALUACIÓN DEL CONFORT HIGROTÉRMICO  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO - ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA**

I. DATOS DE ENCUESTA										
Localidad: _____			Estado: _____			FOLIO: _____				
Fraccionamiento: _____			Clave encuestador: _____							
Nombre de la persona encuestada: _____										
II. DATOS TEMPORALES										
Fecha: _____										
Horario de inicio de la encuesta: _____										
Horario de finalización de la encuesta: _____										
III. INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA										
A	Dispositivos de control climático activos en el lugar	1	<input type="checkbox"/>	Ninguno						
		2	<input type="checkbox"/>	Aire acondicionado						
		3	<input type="checkbox"/>	Ventilador	3a. De techo	3b. De piso	3c. Otro			
		4	<input type="checkbox"/>	Calefacción						
		5	<input type="checkbox"/>	Enfriador Evaporativo						
		6	<input type="checkbox"/>	Otro ¿cual?						
B	Ventilación natural	1	<input type="checkbox"/>	Si	2	<input type="checkbox"/>	No			
C	Dispositivo de control climático pasivo	1	<input type="checkbox"/>	Si	2	<input type="checkbox"/>	No			
IV. INFORMACIÓN DEL HABITANTE										
D	Tiempo que lleva dentro del lugar	Menos de ½ hora			Mas de ½ hora			Otra		
E	Actividad desarrollada	Pasiva			Moderada			Intensa		
F	Sexo	Hombre			Mujer					
G	Constitución Física	Peso (Kg)			Estatura (Cm)			Edad (Años)		
H	Tipo de vestimenta									
	1. Muy ligera	2. Ligera	3. Normal	4. Abrigada	5. Muy abrigada					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
V. INFORMACIÓN SOBRE LA PERCEPCIÓN DEL AMBIENTE INTERIOR DE LA VIVIENDA										
		1	2	3	4	5	6	7		
I	Sensación Térmica ¿Cómo se siente usted en este momento?	Muy frío	Frío	Algo frío	Confortable	Algo de calor	Calor	Mucho calor		
J	Sensación Humedad ¿Cómo siente la humedad en su piel en este momento?	Muy Húmedo	Húmedo	Algo Húmedo	Normal	Algo seco	Seco	Muy seco		
K	Sensación de Ventilación ¿Cómo siente la ventilación en este momento?	Mucha ventilación	Mediana Ventilación	Ligera Ventilación	Ninguna Ventilación					
L	Sensación Nocturna ¿Cómo se sintió esta noche, mientras dormía?	Mucho calor	Calor	Algo de calor	Confortable	Algo de frío	Frío	Mucho Frío		
M	Preferencia Térmica ¿Cómo preferiría usted sentirse en este momento?	Mucho mas fresco	Mas fresco	Un como mas fresco	Sin cambios	Con un poco cálido	Mas Cálido	Mucho mas cálido		
N	Preferencia de ventilación ¿Qué preferiría en este momento con respecto a la ventilación?	Mas Ventilación	Sin cambio	Menos Ventilación						
O	Aceptación del ambiente ¿Cómo considera el clima dentro de su vivienda?	Aceptable	Inaceptable							
P	Tolerancia ¿Qué tan tolerable le parece el clima en este momento dentro de su vivienda?	Muy tolerable	Tolerable	Ligeramente in tolerable	Intolerable	Muy Intolerable				
VI. DATOS DE MONITOREO FÍSICO										
Datos		Interiores								
Temperatura bulbo seco (C°)										
Temperatura bulbo húmedo (C°)										
Temperatura de globo (radiante C°)										
Humedad relativa (%)										
Velocidad de viento (mtrs/seg)										

**Figura 23** Cuestionario para evaluación de confort térmico en vivienda

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 24** Trabajo de campo

*Fuente: Figueroa, 2014*

Con relación a los instrumentos de medición, se presentó un problema técnico en la trasportación del monitor de estrés térmico entre las viviendas durante el trabajo de campo. Ya que era necesario mantenerlo encendido aun cuando no se estuvieran aplicando encuestas, con la finalidad de mantener la estabilización con el ambiente térmico. Sin embargo al exponerlo a la radiación directa del sol, la temperatura registrada por el sensor de globo negro se elevaba, y el tiempo de estabilización al interior de las vivienda se prolongaba, por lo que se optó transportarlo bajo una sombrilla de color claro que proporcionara sombra a los sensores y a los encuestadores.

El equipo de encuestadores tenía como punto de partida y término la Universidad Autónoma Metropolitana, en donde se le entregaba un paquete con las herramientas necesarias para el trabajo de campo. El paquete contenía:

- a) Cuestionarios pre foliados
- b) Tablas de apoyo
- c) Flexómetro
- d) Bascula portátil
- e) Mochila transportadora

- f) Monitor de estrés térmico
- g) Anemómetro de hilo caliente y registrador de datos
- h) Sombrilla color claro para sombrear el equipo
- i) Trípode para el monitor de estrés térmico
- j) Agua destilada (para el sensor de temperatura de bulbo húmedo)
- k) Copia del manual de encuesta
- l) Copias de la carta de autorización para la aplicación de encuestas
- m) Porta credenciales para portar visiblemente la credencial de la Universidad

El coordinador de los encuestadores debía reunir las herramientas necesarias, verificar la disponibilidad de los equipos y preparar el paquete para la entrega con días de anticipación; sin embargo, los encuestadores fueron responsables de revisar las condiciones del equipo al momento de la entrega y devolución del mismo, con la finalidad de involucrarlos con el manejo y cuidado de los aparatos durante el trabajo campo.

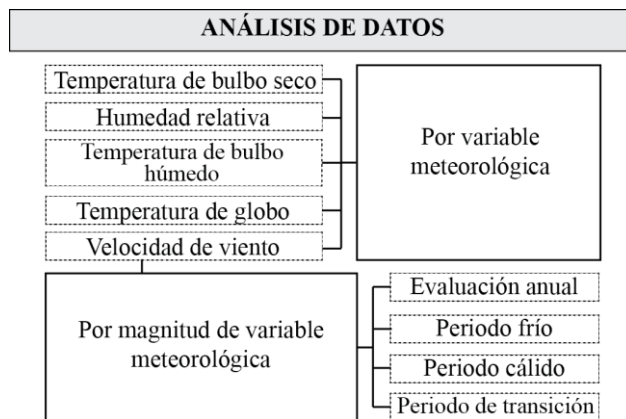
Al finalizar la jornada de aplicación de encuestas, el equipo de encuestadores fue regresado a la Universidad en donde tenían que entregar el equipo y las encuestas levantadas al coordinador de trabajo de campo. El equipo de encuestadores tenía la responsabilidad de verificar los niveles de batería de los equipos antes de salir a campo y al regreso, e informar al coordinador cuando fuera necesario el cambio de estas. Sin embargo siempre les fue entregado un juego extra de baterías por si era necesario remplazarlas. El coordinador debía revisar de manera rápida las encuestas que los encuestadores entregaban para detectar algún error o falta de datos.

Previo a la captura de datos se realizó una revisión a detalle de cada encuesta para identificar posibles errores que no se habían registrado, y en caso de haberlos o si faltaba información la encuesta fue cancelada. Paralelo a lo anterior, se diseñó una base de datos en el programa Excel para facilitar el manejo de la información y el procesamiento de datos. Para el diseño se tomó como referencia la propuesta por Gomez Azpeitia (2007).

Una vez terminado cada periodo de estudio, se procedió al a la revisión de encuestas y vaciado de la información en la base de datos. El vaciado de la información se realizó en parejas, una persona dictaba y la otra capturaba, mientras ambas revisaban que la información fuera correcta, y una vez concluido el trabajo se corroboraba que la información de cada encuesta coincidiera con la base de datos.

#### 4.4 ANÁLISIS DE DATOS

En este apartado se presentan los métodos de análisis de datos que se utilizaron, así como el proceso que se siguió para obtener los resultados de la investigación. El análisis por variable meteorológica se realizó con el método de medias por intervalo de sensación térmica desarrollado por Gómez Azpeitia *et al.* (2007), y el análisis de magnitud por variable meteorológica fue un método comparativo propuesto por Bojorquez Morales (2010).



**Figura 25** Esquema del análisis de datos

*Fuente: Elaboración propia*

##### **4.4.1 Medias por Intervalo de Sensación Térmica (MIST)**

El programa Excel fue utilizado para realizar las correlaciones entre las variables seleccionadas y el manejo de fórmulas para la obtención de resultados. Las variables seleccionadas para el análisis fue la sensación térmica percibida con la temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, humedad relativa, temperatura de globo negro y velocidad de viento. El método estadístico utilizado fue el de medias por sensación térmica (MIST) desarrollado por Gómez Azpeitia, et al. (2009) el cual fue desarrollado con base en la propuesta de Nicol (1993).

Las variables a analizar fueron seleccionadas de acuerdo al objetivo del proyecto “*Determinar la variable meteorológica con mayor efecto en la percepción térmica de los habitantes*”, por lo que a pesar de que en la encuesta se incluyó la pregunta de sensación de humedad y viento, para esta investigación únicamente se correlacionó la sensación térmica percibida con todas las variables climáticas medidas.

La justificación de la aplicación del método MIST en este trabajo se basa en el enfoque de adaptación de confort térmico. El cual como se explica en el marco teórico, no considera que la sensación de confort de un individuo dependa solo de las variables físicas del entorno, sino del conjunto de variables psicofisiológicas que éste pueda experimentar. Por lo que se plantea que la sensación de confort varía entre individuos, localidades e incluso estrato social; lo cual es similar a lo planteado en la hipótesis.

La propuesta de éste método y la principal diferencia con el método convencional de regresión por mínimos cuadrados, es que antes de obtener la recta de regresión que caracteriza a la muestra, se determinan grupos o estratos para calcular la media y desviación estándar ( $\sigma$ ) de cada uno de ellos. Así, la recta de regresión no se hace con todos los pares de información de la muestra, sino con los valores medios y los rangos se establecen por la adición o sustracción de una o mas veces la desviación estándar.

La desviación estándar es una medida de dispersión de las respuestas, por lo que fue necesario llevar a cabo un procedimiento de ajuste, donde las observaciones ubicadas en los extremos de cada categoría que no tuvieran un comportamiento lógico con la mayoría de las observaciones fueron descartadas para obtener resultados más consistentes.

El MIST utiliza la media para el cálculo del valor neutral (confort) y la desviación estándar ( $\sigma$ ) para determinar los rangos. Teóricamente se estima que para datos normalmente distribuidos, el rango de  $\pm 1\sigma$  incluye el 68% de las respuestas y con  $\pm 2\sigma$  incluye el 95%. Para datos no distribuidos normalmente este porcentaje puede variar, por lo que se recomienda obtener el mayor número de respuestas en el trabajo de campo para lograr la distribución normal. Por lo tanto se consideró como rango extenso de preferencia los valores resultantes de  $\pm 2\sigma$  y como rango reducido a los de  $\pm 1\sigma$ .

A continuación se describe paso a paso el procedimiento que se siguió en la aplicación del método para cada variable relacionada con sensación térmica percibida:

- a) Se clasificaron las respuestas por grupos de sensación térmica percibida. Los grupos fueron establecidos con base en la escala utilizada en la encuesta. En la **Tabla 27** se muestra la escala. Cabe mencionar que cuando las respuestas de un grupo determinado no eran suficientes para obtener resultados confiables, se eliminó la categoría.
- b) Se obtuvo el valor de la media y desviación estándar ( $\sigma$ ) de cada variable analizada, para cada grupo de sensación térmica.
- c) Se hizo la adición y sustracción de  $\pm 1\sigma$  y  $\pm 2\sigma$  a los valores de la media de cada grupo de sensación térmica. La **Figura 26** muestra un ejemplo de la tabla obtenida después del punto b y c.

<b>Tabla 27</b> Escala de sensación térmica percibida		
#	VALOR	SENSACIÓN
7	3	Algo de calor
6	2	Calor
5	1	Mucho calor
4	0	Ni frío ni calor
3	-1	Mucho frío
2	-2	Frío
1	-3	Algo de frío

*Fuente: ISO 10551, 1995*

- d) Se realizó un diagrama de dispersión, en el eje de las “y” se graficó la escala de sensación térmica y en el eje de las “x” los valores correspondientes de cada voto de acuerdo a la variable correlacionada.
- e) Se agregaron al diagrama anterior los grupos de la media, así como de los de  $\pm 1\sigma$  y  $\pm 2\sigma$  por escala de sensación térmica (Ver **Figura 26**). Y se obtuvieron las rectas de regresión lineal de los mismos.

Sensación térmica	Escala	$\sigma$	$-2\sigma$	$-1\sigma$	Media TBS	$+1\sigma$	$+2\sigma$
Frío	2	4.21	7.76	11.97	16.19	20.40	24.61
Algo de frío	3	2.95	13.20	16.15	19.11	22.06	25.02
Ni frío ni calor	4	<b>2.31</b>	<b>18.36</b>	<b>20.67</b>	<b>22.98</b>	<b>25.30</b>	<b>27.61</b>
Algo de calor	5	1.62	22.16	23.79	25.41	27.04	28.66
Calor	6	1.58	22.98	24.56	26.14	27.72	29.30
Mucho calor	7	1.56	22.45	24.01	25.57	27.13	28.70

**Figura 26** Ejemplo de la obtención del valor de la media y desviación estándar para cada grupo de sensación térmica

*Fuente: Elaboración propia*

- f) Una vez obtenidas las ecuaciones de las cinco rectas de regresión; para calcular los valores neutrales, se sustituye “y” por el valor cuatro, que corresponde a la sensación térmica “ni frío ni calor” y se despeja “x”. En la **Figura 27** se observa un ejemplo con los resultados del despeje de fórmulas. Se exponen los valores correspondientes al rango extenso  $\pm 2\sigma$  y rango reducido  $\pm 1\sigma$ , así como el valor neutral o de confort.

NEUTRAL	$-2\sigma$	$-1\sigma$	TBSn	$+1\sigma$	$+2\sigma$
	16.04	18.72	21.39	24.06	26.72

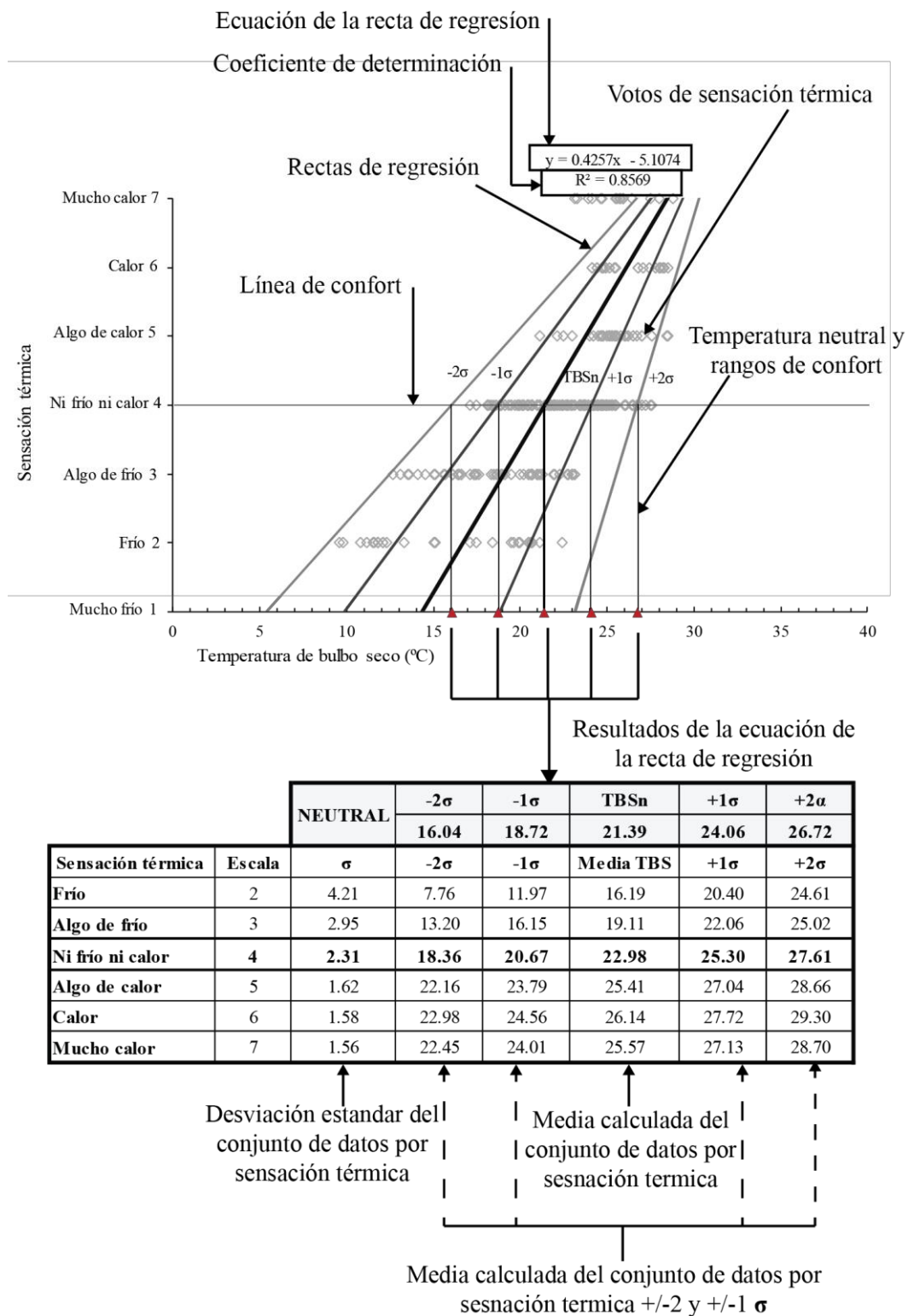
**Figura 27** Ejemplo de obtención de valores neutrales

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 28 se muestra un ejemplo del diagrama de dispersión con sus respectivas tablas de valores neutrales, grupos de medias y  $\pm 1\sigma$  y  $\pm 2\sigma$  obtenidas. Esto ayudara a la lectura de los gráficos presentados en el capítulo de resultados.

Finalmente se realizó un análisis fenomenológico de lo observado en las gráficas, así como del comportamiento de las líneas de regresión  $\pm 1\sigma$  y  $\pm 2\sigma$ , para comprender la adaptación subjetiva de los votos estudiados. Por último se llevó a cabo un análisis comparativo sobre el valor neutral, rangos de confort (extenso y reducido) y del coeficiente de determinación de cada recta.





**Figura 28** Explicación para lectura de gráficos

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.4.2 Magnitud por variable meteorológica

El análisis de confort térmico por magnitud de variable meteorológica se planteó como respuesta a la hipótesis planteada, que establece que la sensación térmica que experimentan las personas depende no solo del conjunto de variables, si no de la magnitud de cada una de ellas. Por lo que fue necesario establecer cuál de ellas tuvo mayor efecto sobre “y” (sensación térmica percibida) conforme cambio su valor de “x” (variable meteorológica).

El método utilizado se basa en el propuesto en la tesis doctoral de Bojorquez Morales (2010), el cual establece dos aspectos a evaluar:

- 1) El efecto por varacion de magnitud de las variables meteorologicas: Se considero como valor de referencia la pendiente de la recta ( $m$ ) de la linea de regresión media. Lo anterior debido a que una pendiente con valor igual a cero no tendrá un cambio en la escala del eje de las “y”. Por lo que se estableció lo siguiente:
  - a. Mientras el valor de  $m$  sea mas alejado a cero, mayor influencia tendrá la variable de la “x”, sobre “y”.
  - b. Si  $m=0$  entonces “Y” es constante.
  - c. Si  $m=\infty$  entonces “X” es una constante que no afecta el valor de “Y”.
  - d. Si el valor de  $m$  es positivo, la relación de variables es directamente proporcional, entonces se interpreta que entre mas aumente la variable “X”, tambien aumenta la variable “Y”, o sea hay un aumento hacia la sensación térmica de calor.
  - e. Si el valor de  $m$  es negativo, la relación de variables es inversamente proporcional, es decir, entre mas aumente la variable “X”, la variable “Y” reduce su valor, o sea hay un aumento hacia la sensación térmica de frío.

Para mejor comprensión de los antes dicho, la ecuación 3 explica los componentes de la ecuacion de la recta de regresión:

$$Y = mx + b \quad (7)$$

En donde:

Y: variable dependiente, afectada

x: variable independiente, la que afecta

m: pendiente de la recta

b: Termino independiente u ordenada de origen

- 2) Claridad en la percepción de los sujetos de estudio: En este aspecto fue importante establecer la homogeneidad de la muestra; se tomó como referencia el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la línea de regresión media, ya que la cantidad de variación en “y” está explicada por la recta de regresión, lo que da una idea del grado de dispersión de la muestra estudiada. Con base en lo establecido en el trabajo de Bojorquez Morales (2010) se establecieron los rangos condicionantes siguientes:
- a. Si  $R^2 \geq 0.9$  la correlación es muy alta, por lo que hay certeza en la concentración de respuestas, la muestra no es dispersa.
  - b. Si  $R^2 < 0.9$  pero  $\geq 0.7$ , se puede decir que la correlación es alta, la muestra es un poco dispersa.
  - c. Si  $R^2 < 0.7$  pero  $\geq 0.5$ , la correlación es media, la muestra tiene una concentración media.
  - d. Si  $R^2 < 0.5$ , la correlación es baja, con alto grado de dispersión en la muestra, por lo que no hay claridad en la percepción térmica de la muestra. En caso de que un valor de  $m$  presente una correlación baja, se considerara más apropiado el próximo inmediato con un valor  $R^2$  de al menos una correlación media.

## 5 RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados y el análisis fenomenológico en el orden siguiente: Temperatura de bulbo seco (TBS), humedad relativa (HR), temperatura de bulbo húmedo (TBH), temperatura de globo negro (TGN) y velocidad de viento (VV). Cada apartado de variable meteorológica se divide por periodo de estudio: Evaluación anual, periodo frío, periodo cálido y periodos de transición.

Para la comprobación de la hipótesis, se incluye un análisis comparativo de los valores neutrales medios y rangos de confort térmico para determinar la representatividad y el efecto en la sensación térmica por magnitud de variable meteorológica, con la finalidad de definir la variable con mayor influencia en la sensación térmica de los habitantes por periodo de estudio.

### 5.1 SENSACIÓN TÉRMICA POR TEMPERATURA DE BULBO SECO

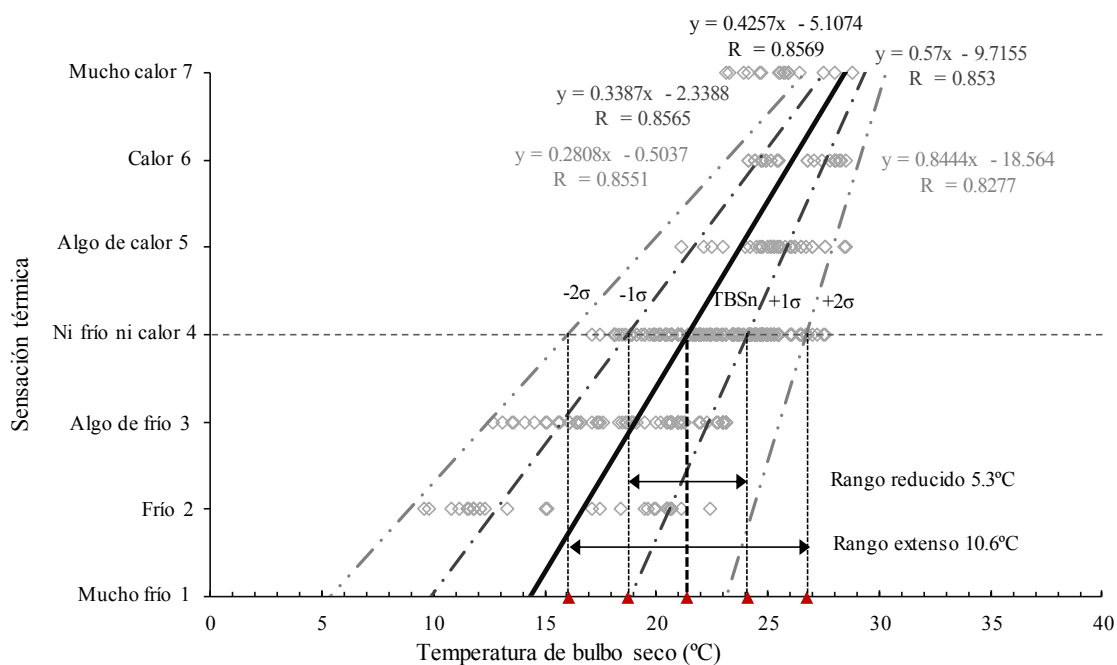
En este apartado se presenta la correlación de la sensación térmica percibida con la temperatura de bulbo seco. Se exponen los valores neutrales por periodo analizado y los rangos de confort  $\pm 1\sigma$  (reducido) y  $\pm 2\sigma$  (extenso) resultantes de la aplicación del método MIST.

#### 5.1.1 *Evaluación anual*

El total de observaciones para la evaluación anual es de 387, y presenta todas las sensaciones térmicas, excepto la de “mucho frío”; el 80% de las respuestas se concentran en las sensaciones de “ni frío ni calor”, “algo de calor” y “algo de frío” lo cual significa que las condiciones del ambiente interior son entre aceptables y tolerables para la mayoría de los sujetos. Cabe mencionar que todas las variables estudiadas anualmente, tienen la misma cantidad de observaciones.

Como se observa en la gráfica de la Figura 29, todas las sensaciones térmicas presentan observaciones fuera de los rangos de confort térmico hacia los límites de  $\pm 2\sigma$ , lo que indica que los sujetos no logran adaptarse a temperaturas menores a 16.4 °C y mayores a 26.7 °C. Todas las líneas de regresión muestran un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mayor a 0.80, lo cual de acuerdo a lo planteado en la metodología, es un valor de correlación estadísticamente representativo, por lo que se valida la representatividad de la ecuación y por lo tanto los valores neutrales.

En la parte inferior de la **Figura 29** los valores de desviación estándar tienden a disminuir conforme aumenta la sensación térmica de calor, estadísticamente esto significa que hubo menor posibilidad de error en las respuestas dentro de la escala de 5-7, sin embargo, fenomenológicamente indica que los sujetos tienen menor posibilidad de adaptación a éstas condiciones.



		NEUTRAL	-2 $\sigma$	-1 $\sigma$	TBSn	+1 $\sigma$	+2 $\sigma$
			16.04	18.72	21.39	24.06	26.72
Sensación térmica	Escala	$\sigma$	-2 $\sigma$	-1 $\sigma$	Media TBS	+1 $\sigma$	+2 $\sigma$
Frío	2	4.21	7.76	11.97	16.19	20.40	24.61
Algo de frío	3	2.95	13.20	16.15	19.11	22.06	25.02
Ni frío ni calor	4	2.31	18.36	20.67	22.98	25.30	27.61
Algo de calor	5	1.62	22.16	23.79	25.41	27.04	28.66
Calor	6	1.58	22.98	24.56	26.14	27.72	29.30
Mucho calor	7	1.56	22.45	24.01	25.57	27.13	28.70

TBSn: Temperatura de bulbo seco neutral  $\sigma$ : desviación estándar

**Figura 29** Sensación térmica por temperatura de bulbo seco (TBS) evaluación anual

Fuente: Elaboración propia

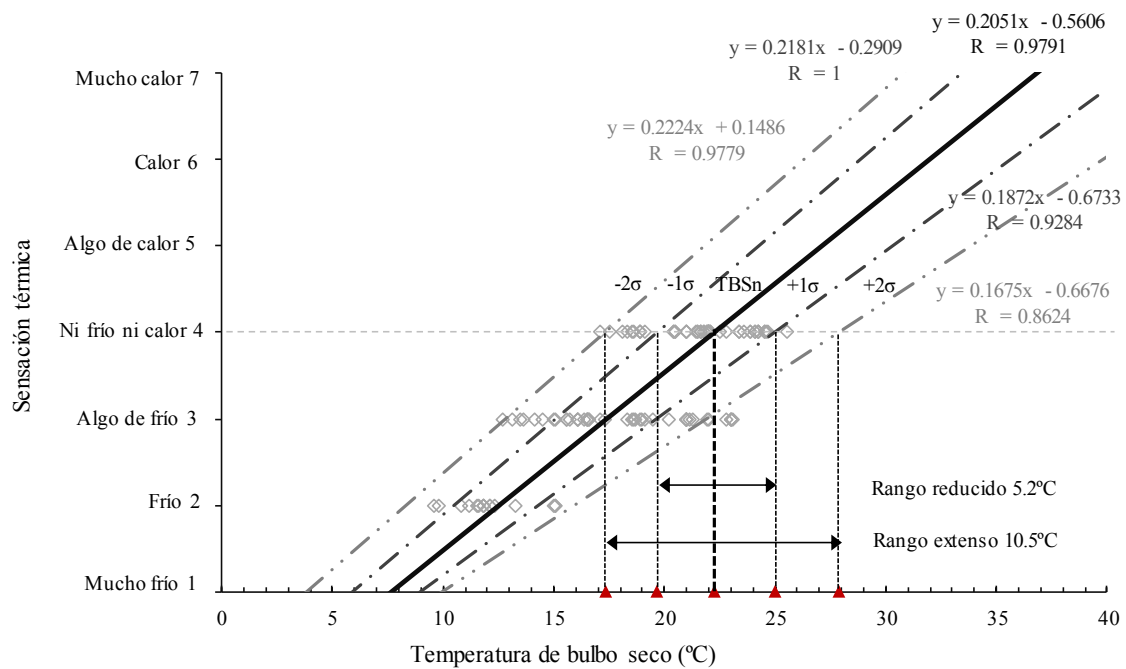
Las líneas de regresión de  $\pm 2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son divergentes con respecto a la línea de regresión media conforme aumenta la sensación térmica de frío (ver **Figura 29**), lo que indica que anualmente hay mayor capacidad de adaptación a estas condiciones (frío), sin embargo, las sensaciones de “frío” y “algo de frío” muestran mayor dispersión en los datos, lo cual se debe a los niveles de arropamiento y actividad metabólica de los sujetos, el nivel de actividad en estas sensaciones es de 40% en actividad de reposo (40 a 70W/m<sup>2</sup>) y 55% en trabajo moderado (90 a 165W/m<sup>2</sup>), mientras que el 80% de los sujetos viste entre normal y abrigado (de 0.60 a 1.0clo) ; como se mencionó en la metodología, el análisis por condiciones físicas y fisiológicas de los sujetos no se presenta en este trabajo, sin embargo, los datos sirven para explicar el fenómeno observado.

Para este caso específico, los rangos de confort térmico son equidistantes con respecto a la línea de temperatura neutral (TBSn), es decir los límites  $\pm 2\sigma$  son de  $\pm 5.3$  °C y los  $\pm 1\sigma$  son de  $\pm 2.6$  °C, lo cual es similar a lo dicho Auliciems & Szokolay (1997).

### ***5.1.1 Periodo Frío***

El total de observaciones para el periodo frío es de 118, y no presenta sensaciones de “calor”, “algo de calor”, “mucho calor”, ni de “mucho frío”; el 85% de los votos se concentran en las sensaciones “ni frío ni calor” y “algo de frío”, lo cual indica que las condiciones del ambiente interior son entre aceptables y tolerables para la mayoría de los sujetos en este periodo; cabe mencionar que todas las variables estudiadas en este periodo tienen la misma cantidad de observaciones.

En la gráfica de la **Figura 30** se observa que las sensaciones de “frío” y “algo de frío” presentan observaciones fuera de los rangos de confort térmico hacia el límite  $-2\sigma$ , lo cual representa que los sujetos no lograron adaptarse a temperaturas menores a 17.32°C, lo anterior es similar a lo establecido por Wang, Zhang, Zhao, & He (2010). Las líneas de regresión  $\pm 1\sigma$ ,  $-2\sigma$  y TBSn muestran un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mayor a 0.90, lo que de acuerdo a lo planteado en la metodología, es un valor de correlación estadísticamente representativo; para el caso de la línea  $+2\sigma$  el  $R^2$  es de 0.86, en comparación con el de la línea de regresión media es 11% menor, sin embargo, es permisible; por lo que se valida la representatividad de la ecuación y por lo tanto los valores neutrales.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TBSn	+1σ	+2σ
			17.32	19.67	22.24	24.96	27.87
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TBS Media	+1σ	+2σ
Frío	2	1.69	8.81	10.49	12.18	13.87	15.56
Algo de frío	3	3.05	12.06	15.11	18.16	21.21	24.26
Ni frío ni calor	4	2.06	17.60	19.66	21.73	23.79	25.85

TBSn: Temperatura de bulbo seco neutral σ: desviación estándar

**Figura 30** Sensación térmica por temperatura de bulbo seco (TBS) en periodo frío

Fuente: Elaboración propia

Las líneas de regresión de  $-2\sigma$  y  $-1\sigma$  visualmente son paralelas a la línea de regresión media, sin embargo, son convergentes ligeramente conforme aumenta la sensación de “algo de frío” a “ni frío ni calor”, lo cual representa que la percepción térmica de temperaturas menores a 22.2 °C es similar en todas las sensaciones. Las líneas  $+2\sigma$  y  $+1\sigma$  tienen el mismo comportamiento pero con pendiente mayor, lo cual indica que cuando la temperatura es mayor a 22.2 °C la capacidad de adaptación de las sensaciones de frío se reduce (**Figura 30**).

Como se observa en la parte inferior de la **Figura 30** los valores de desviación estándar no presentan una tendencia de disminución entre sí; la sensación de “frío” con respecto a la sensación “ni frío ni calor” si muestra una disminución, sin embargo, la sensación de “algo de frío” fue inconsistente con lo anterior, ya que es la que tiene el valor mayor, lo cual estadísticamente indica que hubo mayor incertidumbre en las respuestas, sin embargo, fenomenológicamente significa que los sujetos tienen mayor capacidad de adaptación en estas condiciones.

### **5.1.2 Período cálido**

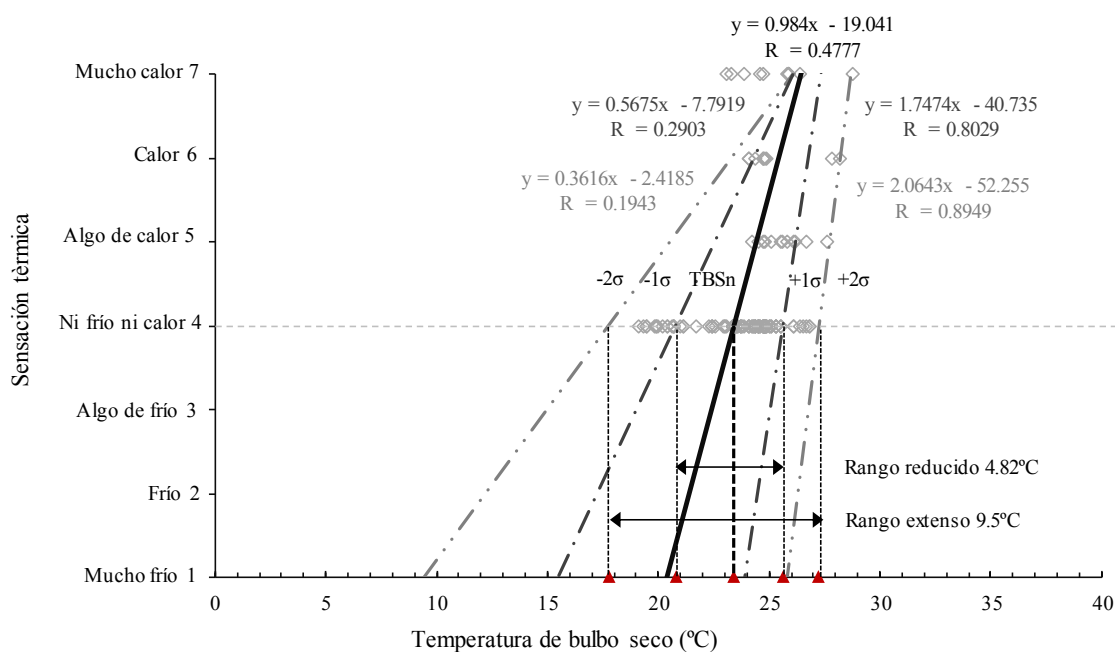
El total de observaciones para el periodo cálido es de 132, y no presenta sensaciones térmicas de “mucho frío”, “frío” y “algo de frío”; el 75% de las observaciones se concentran en la sensación “ni frío ni calor” lo cual indica que las condiciones del ambiente interior son aceptables para la mayoría de los sujetos en este periodo; cabe mencionar que todas las variables estudiadas en este periodo tienen la misma cantidad de observaciones.

En la gráfica de la **Figura 31** se muestran algunas observaciones fuera de los límites de confort en las sensaciones de “calor” y “mucho calor” hacia el límite  $+2\sigma$ , lo cual indica que la mayoría de los sujetos tienen una preferencia por temperaturas menores a 27.2 °C.

Las líneas de regresión  $\pm 1\sigma$  y  $\pm 2\sigma$  son divergentes con respecto a la línea de regresión media conforme aumenta la sensación de frío, lo cual indica que los sujetos tienen mayor capacidad de adaptación a estas condiciones en el periodo cálido. Sin embargo las líneas  $-2\sigma$ ,  $-1\sigma$  y TBSn tienen un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) menor a 0.5, por lo tanto son valores no representativos estadísticamente; esto se debe a la capacidad de adaptación de los sujetos, ya que como menciona Mondelo (2001), el tiempo mínimo de adaptación a condiciones de calor es de siete días, por lo que en esta temporada, como se menciona en la metodología al tener condiciones atípicas previas al periodo de medición, los sujetos no lograron aclimatarse a las condiciones de temperatura del periodo cálido.

Como se muestra en la parte inferior de la **Figura 31**, los valores de desviación estándar disminuyen hacia las sensaciones de calor con respecto a la sensación “ni frío ni calor”, el valor menor se observa en la sensación de “algo de calor”, lo cual indica que la capacidad de adaptación de los sujetos a las condiciones térmicas del periodo cálido se da hasta esta sensación.





		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TBSn	+1σ	+2σ
			17.45	20.61	23.37	25.63	27.27
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TBS Media	+1σ	+2σ
Ni frío ni calor	4	1.96	19.64	21.60	23.57	25.53	27.49
Algo de calor	5	0.99	23.59	24.58	25.57	26.55	27.54
Calor	6	1.67	21.86	23.53	25.20	26.87	28.54
Mucho calor	7	1.63	22.05	23.67	25.30	26.93	28.55

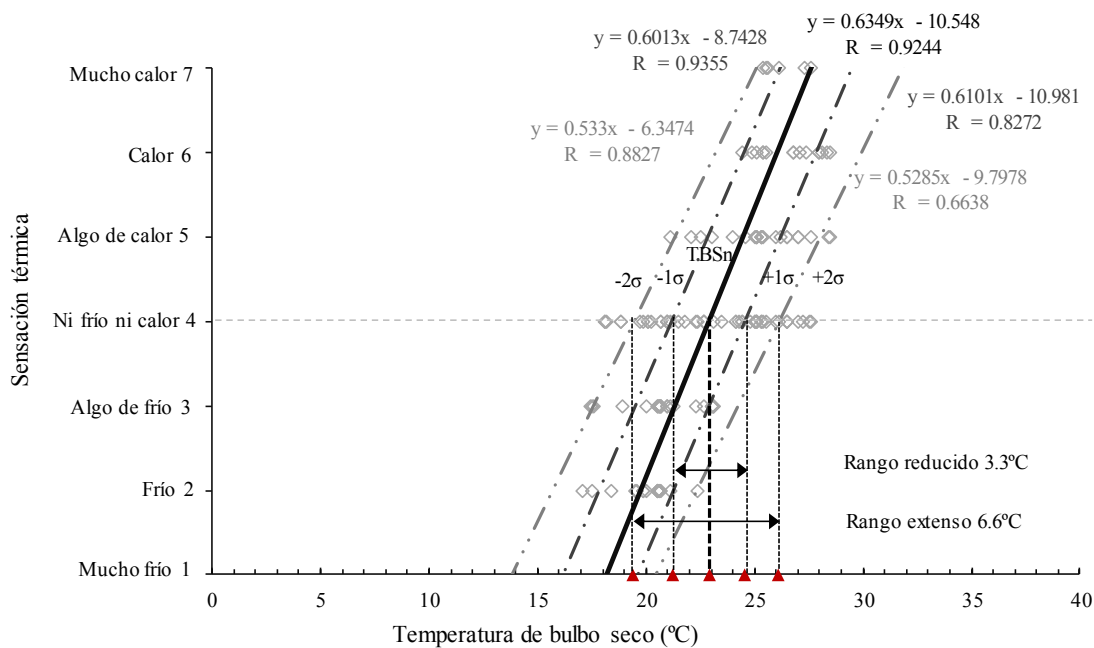
TBSn: Temperatura de bulbo seco neutral    σ: desviación estándar

**Figura 31** Sensación térmica por temperatura de bulbo seco (TBS) en periodo cálido

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.1.3 Periodos de transición

El total de observaciones para el periodo de transición es de 137, y presenta todas las sensaciones excepto la de “mucho frío”; el 71% de las observaciones se concentran en las sensaciones “ni frío ni calor”, “algo de calor” y “algo de frío” lo cual significa que las condiciones del ambiente interior son aceptables para la mayoría de los sujetos en este periodo; cabe mencionar que todas las variables estudiadas en este periodo tienen la misma cantidad de observaciones.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TBSn	+1σ	+2σ
			19.41	21.19	22.91	24.55	26.11
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TBS Media	+1σ	+2σ
Frío	2	1.29	17.37	18.66	19.96	21.25	22.55
Algo de frío	3	1.73	17.41	19.14	20.88	22.61	24.34
Ni frío ni calor	4	2.77	17.61	20.38	23.14	25.91	28.68
Algo de calor	5	1.89	21.55	23.44	25.33	27.22	29.11
Calor	6	1.41	23.83	25.24	26.65	28.05	29.46
Mucho calor	7	0.96	24.32	25.29	26.25	27.21	28.18

TBSn: Temperatura de bulbo seco neutral σ: desviación estándar

**Figura 32** Sensación térmica por temperatura de bulbo seco (TBS) en periodos de transición

*Fuente: Elaboración propia*

En la gráfica de la **Figura 32** se muestra que todas las sensaciones tienen observaciones fuera de la zona de confort hacia los límites de  $\pm 2\sigma$ , lo cual indica que los sujetos no lograron adaptarse a temperaturas menores a 19.4 °C y mayores 26.1 °C. Las líneas de regresión de -2σ y -1σ visualmente son paralelas con respecto a la línea de regresión media, sin embargo son convergentes ligeramente conforme aumenta la sensación de “mucho calor”, lo opuesto sucede con las líneas de regresión de +2σ y +1σ que son convergentes ligeramente hacia las sensaciones de frío; lo anterior indica que cuando las temperaturas de bulbo seco son menores a 22.9 °C los sujetos muestran menor capacidad de adaptación hacia las sensaciones de calor, y cuando son mayores ocurre lo contrario.

En la parte inferior de la **Figura 32** se observa que los valores de desviación estándar disminuyen de la sensación “ni frío ni calor” hacia los extremos, lo cual estadísticamente indica que conforme aumenta la sensación de frío o calor la incertidumbre en las respuestas disminuye, es decir en periodos de transición los sujetos tienen capacidad de adaptación tanto condiciones cálidas como frías.

## 5.2 SENSACIÓN TÉRMICA POR HUMEDAD RELATIVA

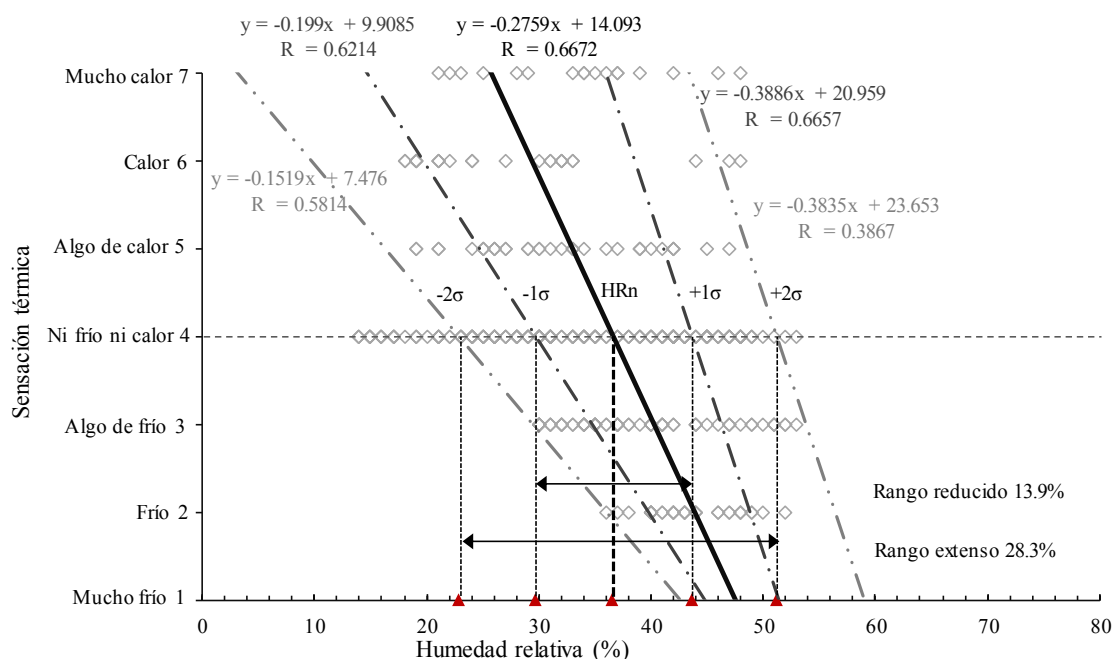
En este apartado se presenta la correlación de la sensación térmica percibida con la humedad relativa (HR); se exponen los valores de humedad relativa neutral por periodo analizado y los rangos de confort  $\pm 1\sigma$  (reducido) y  $\pm 2\sigma$  (extenso) resultantes de la aplicación del método MIST.

### 5.2.1 Evaluación anual

La evaluación anual de sensación térmica por humedad relativa muestra que el 13.8% de los votos están fuera de la zona de confort, lo que indica que algunas viviendas no presentan condiciones de humedad relativa aceptables (22.8% - 51.2%) para los sujetos, lo cual es similar a lo propuesto por Olgyay (2010). Sin embargo, del 86.2% de las observaciones que están dentro de la zona de confort solo el 44.3% dice percibir “ni frío ni calor”, lo anterior indica que la sensación térmica es afectada por otras variables, en este caso, el arropamiento y la velocidad de viento, ya que el 75.6% de los sujetos visten entre ligero y normal (0.37-0.70 clo) y el promedio anual de la velocidad de viento registrada es de 0.07 m/s.

Como se puede observar en la **Figura 33**, las líneas de regresión  $\pm 2\sigma$ ,  $\pm 1\sigma$  son convergentes a la línea de regresión media conforme aumenta la sensación de “ni frío ni calor” a “frío”, esto indica que conforme aumenta la sensación de frío se reduce la capacidad de adaptación a la humedad relativa, lo cual es coherente para un clima templado, ya que la humedad relativa en el ambiente genera un efecto de reducción de temperatura lo que aumenta la percepción de frío. La tendencia de las líneas es positiva, lo que significa que a menor humedad relativa, mayor la capacidad de adaptación de los sujetos.

La línea de regresión  $+2\sigma$ , presenta el mismo comportamiento pero con una pendiente menor, lo cual significa que cuando la humedad relativa es mayor a 50% la sensación térmica de los sujetos se ve afectada por otras variables, esto lo refleja el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.38, que con respecto a lo establecido en la metodología, es un valor no representativo estadísticamente. Para el caso de las líneas de regresión  $-2\sigma$ ,  $\pm 1\sigma$  y HRn tienen un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mayor a 0.5, lo cual es poco representativo estadísticamente pero permisible.



		NEUTRAL	$-2\sigma$	$-1\sigma$	HRn	$+1\sigma$	$+2\sigma$
			22.88	29.69	36.58	43.64	51.25
Sensación térmica	Escala	$\sigma$	$-2\sigma$	$-1\sigma$	HR Media	$+1\sigma$	$+2\sigma$
Frío	2	3.95	35.59	39.54	43.48	47.43	51.38
Algo de frío	3	6.76	25.18	31.94	38.70	45.45	52.21
Ni frío ni calor	4	10.10	13.22	23.32	33.43	43.53	53.63
Algo de calor	5	7.69	16.45	24.14	31.83	39.52	47.20
Calor	6	9.03	9.65	18.68	27.71	36.74	45.77
Mucho calor	7	8.00	17.47	25.47	33.47	41.47	49.47

HRn: Humedad relativa neutral  $\sigma$ : desviación estándar

**Figura 33** Sensación térmica por humedad relativa (HR) evaluación anual

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la parte inferior de la **Figura 33** los valores de desviación estándar tienden disminuir a partir de la sensación “ni frío ni calor” hacia los extremos, sin embargo, las sensaciones “calor” y “mucho calor” son incongruentes con lo anterior, lo que indica que los sujetos se adaptan a las condiciones humedad relativa hasta la sensación “algo de calor”.

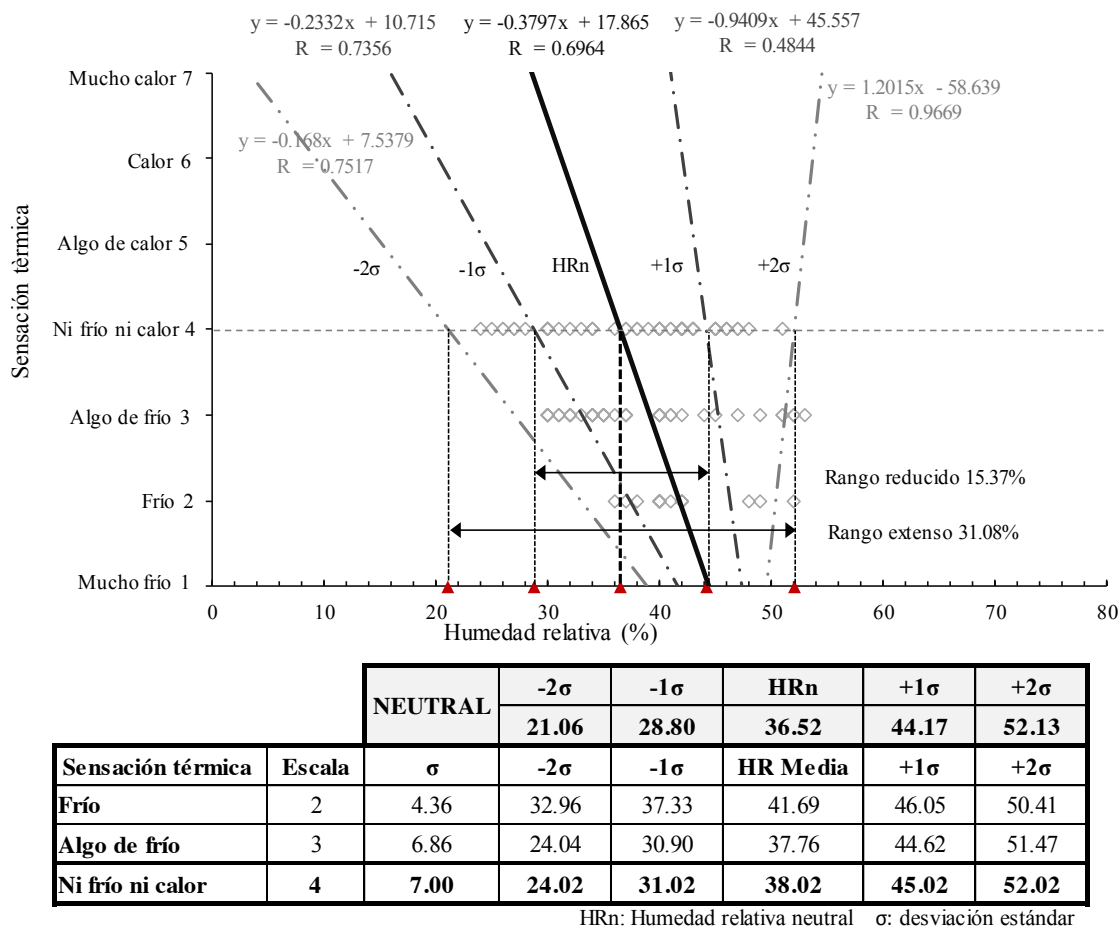
### 5.2.2 *Periodo frío*

El análisis de sensación térmica por humedad relativa en éste periodo presenta solo una observación fuera de la zona de confort de humedad, lo que significa que la mayoría de las viviendas presentan condiciones de humedad relativa aceptables por los sujetos (21.0% - 52.1%); sin embargo, el 54% de las observaciones dicen sentir “algo de frío” y “frío” lo cual se debe al arropamiento de los sujetos, ya que el 65% de las observaciones de éstas sensaciones visten abrigado (1.0 clo) lo cual no permite que la humedad de la piel se condense y ésta se acumula favoreciendo la percepción de frío.

En la gráfica de la **Figura 34** se observa que las líneas de regresión de  $\pm 2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son divergentes a línea de regresión media, conforme aumenta la sensación de “ni frío ni calor” a “frío” hacia las humedades relativas mayores a 40%, lo cual indica que conforme aumenta la humedad relativa, se incrementa la sensación de frío y la capacidad de adaptación se reduce.

Las líneas de regresión  $-2\sigma$ ,  $-1\sigma$  y TBSn muestran coeficientes de determinación ( $R^2$ ) entre 0.69 y 0.75, lo que de acuerdo a lo planteado en la metodología, son valores poco representativos estadísticamente, pero aceptables; la línea de  $+1\sigma$  muestra un  $R^2$  menor a 0.5, lo cual es un valor no representativo en la muestra, lo anterior indica que la humedad relativa no es representativa en la percepción térmica de la temporada fría.

En la parte inferior de la **Figura 34** se observa que los valores de desviación estándar tienden a disminuir a partir de la sensación “ni frío ni calor”, lo cual estadísticamente indica que en las sensaciones de frío la posibilidad de error en las respuestas es menor, sin embargo fenomenológicamente indica que la capacidad de adaptación de los sujetos se reduce cuando la sensación de frío aumenta.

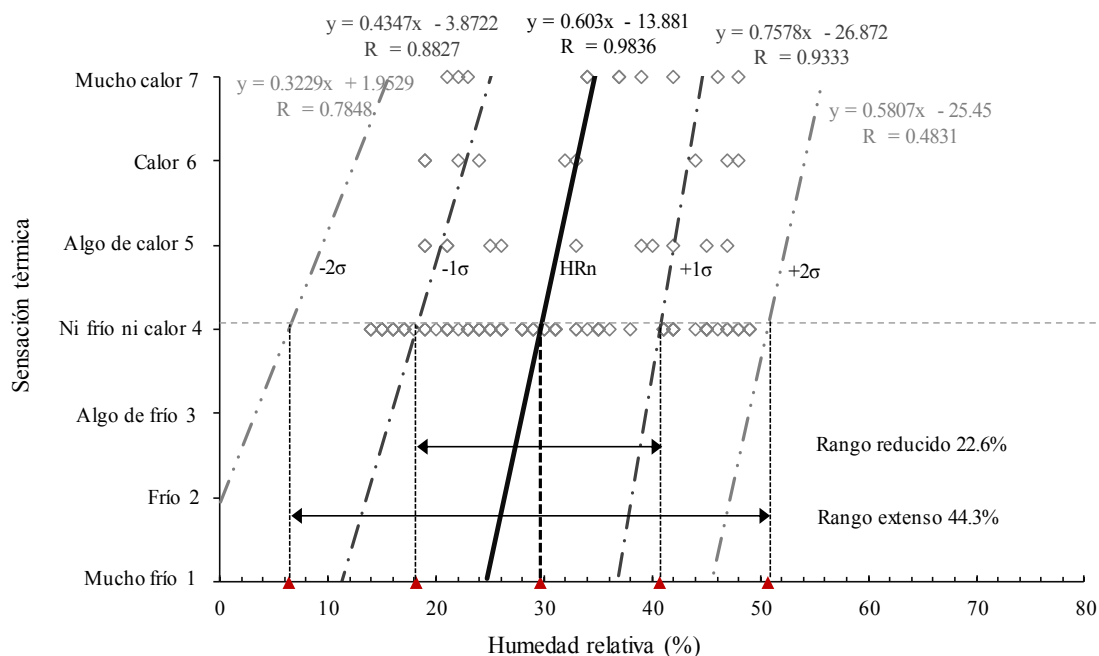


**Figura 34** Sensación térmica por humedad relativa (HR) en periodo frío

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.3 Periodo cálido

La sensación térmica por humedad relativa en el periodo cálido no presenta ninguna observación fuera de la zona de confort térmico, lo cual indica que todas las viviendas evaluadas en este periodo tienen condiciones de humedad relativa aceptables para los sujetos; sin embargo, solo el 75.2% de las observaciones dicen sentir “ni frío ni calor”, lo que indica que la sensación térmica es afectada por otras variables como el viento, ya que el promedio de velocidad de viento en esta temporada es de 0.10 m/s, lo cual es apenas apreciable para el ser humano y no favorece el enfriamiento por convección.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	HRn	+1σ	+2σ
		σ	6.34	18.11	29.65	40.74	50.71
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	HR Media	+1σ	+2σ
Ni frío ni calor	4	10.88	8.00	18.88	29.76	40.64	51.52
Algo de calor	5	10.74	9.94	20.68	31.42	42.16	52.90
Calor	6	11.34	9.88	21.22	32.56	43.91	55.25
Mucho calor	7	9.35	16.12	25.47	34.82	44.17	53.51

HRn: Humedad relativa neutral σ: desviación estándar

**Figura 35** Sensación térmica por humedad relativa (HR) en periodo cálido

*Fuente: Elaboración propia*

En la **Figura 35** se observa que visualmente las líneas de regresión  $\pm 1\sigma$  y  $-2\sigma$  son casi paralelas a la línea de regresión media, sin embargo muestran una tendencia convergente ligeramente conforme aumenta la sensación de “ni frío ni calor” a “mucho calor”, lo cual indica que conforme aumenta la sensación de calor, la capacidad de adaptación a condiciones de humedad disminuye.

Las líneas  $\pm 1\sigma$  y HRn tienen un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mayor a 0.85, por lo tanto son valores estadísticamente muy representativos, de acuerdo a lo establecido en la metodología. La línea  $-2\sigma$ , tienen un  $R^2$  menor de 0.78, lo cual es estadísticamente aceptable, sin embargo, el  $R^2$  de la línea  $+2\sigma$  es menor a 0.5 lo cual no es representativo para la muestra. Por lo anterior se decidió descartar los rangos extensos de la zona de confort de humedad en este periodo.

En la parte inferior de la **Figura 35**, se observa que los valores de desviación estándar disminuyen a partir de la sensación “ni frío ni calor” hacia el extremo, sin embargo la sensación de “calor” es incongruente con lo anterior, lo que indica que la capacidad de adaptación de los sujetos a las condiciones de humedad en el periodo cálido es hasta la sensación 5, “Algo de calor”.

Es importante mencionar que durante el trabajo de campo en este periodo, el análisis de los datos obtenidos de las EMAs, muestran la mayor oscilación en lo que corresponde a humedad relativa de los periodos estudiados, que va desde el 25% al 85% (apartado 4.2.2). De igual manera, las mediciones en las viviendas presentan una diferencia de 35% de humedad, durante los 10 días de medición. Lo cual genera una desviación estándar muy amplia que está relacionada con la dispersión de las observaciones.

#### **5.2.4 Periodos de transición**

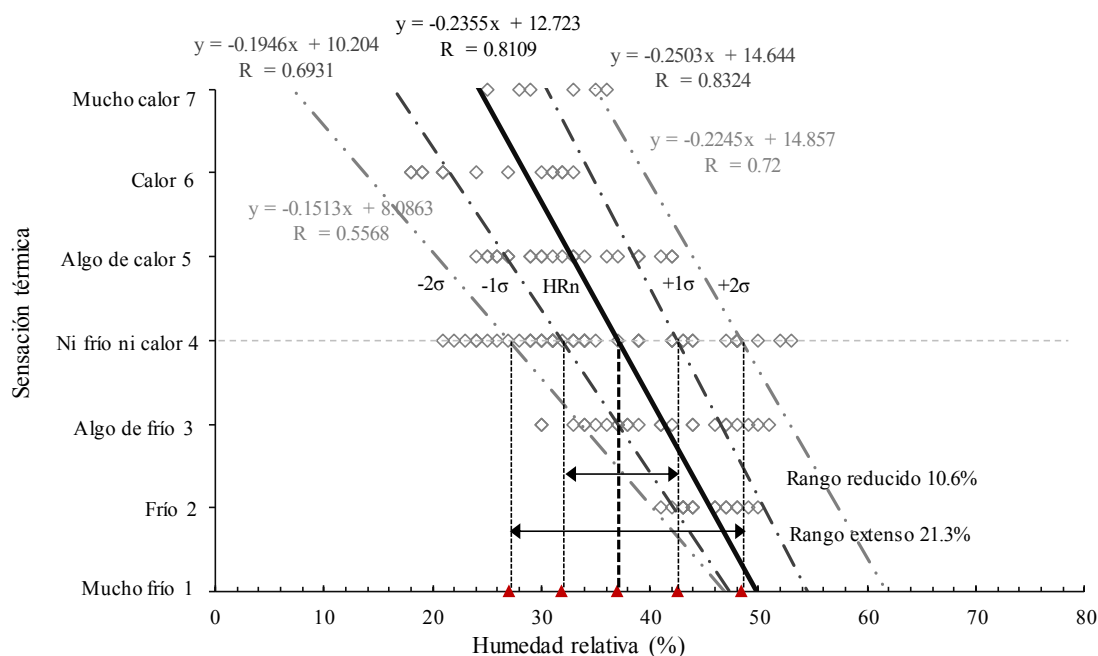
El análisis de sensación térmica por humedad relativa en periodos de transición presenta el 21.6% de las observaciones fuera de la zona de confort hacia los límites  $\pm 2\sigma$ , lo cual indica que no todas las viviendas tienen condiciones de humedad aceptables por los sujetos (27% - 48.3%).

Como se observa en la gráfica de la **Figura 36**, las líneas de regresión de  $-2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son convergentes conforme aumenta la sensación de frío (2,3), lo cual indica la capacidad de adaptación de los sujetos disminuye conforme aumenta la sensación de frío. La línea  $+2\sigma$  presenta el comportamiento contrario, lo que significa que cuando la humedad relativa es mayor a 42.5% la adaptación hacia las sensaciones de calor se reducen.

El coeficiente de terminación ( $R^2$ ) de todas las líneas de regresión es mayor a 0.5, lo que significa que los valores son representativos estadísticamente según lo antes establecido, por lo que se valida la representatividad de las ecuaciones y por lo tanto los valores neutrales.

En la parte inferior de la **Figura 36** se muestra que los valores de desviación estándar disminuyen a partir de la sensación “ni frío ni calor” hacia los extremos, lo cual estadísticamente indica que las respuestas en estas sensaciones tienen menor margen de error; fenomenológicamente significa conforme aumento la sensación de frío o calor la capacidad de adaptación se redujo. La sensación de “calor” fue incongruente con lo anterior, lo que indica, que los sujetos lograron adaptarse a las condiciones de humedad hasta esta sensación.





		NEUTRAL	$-2\sigma$	$-1\sigma$	HRn	$+1\sigma$	$+2\sigma$
			27.01	31.88	37.04	42.52	48.36
Sensación térmica	Escala	$\sigma$	$-2\sigma$	$-1\sigma$	HR Media	$+1\sigma$	$+2\sigma$
Frío	2	2.65	39.87	42.53	45.18	47.83	50.48
Algo de frío	3	6.33	27.80	34.13	40.46	46.79	53.12
Ni frío ni calor	4	8.69	18.34	27.03	35.71	44.40	53.09
Algo de calor	5	5.79	20.47	26.26	32.04	37.83	43.62
Calor	6	5.87	13.40	19.27	25.13	31.00	36.87
Mucho calor	7	4.34	22.33	26.66	31.00	35.34	39.67

HRn: Humedad relativa neutral  $\sigma$ : desviación estándar

**Figura 36** Sensación térmica por humedad relativa (HR) en periodos de transición

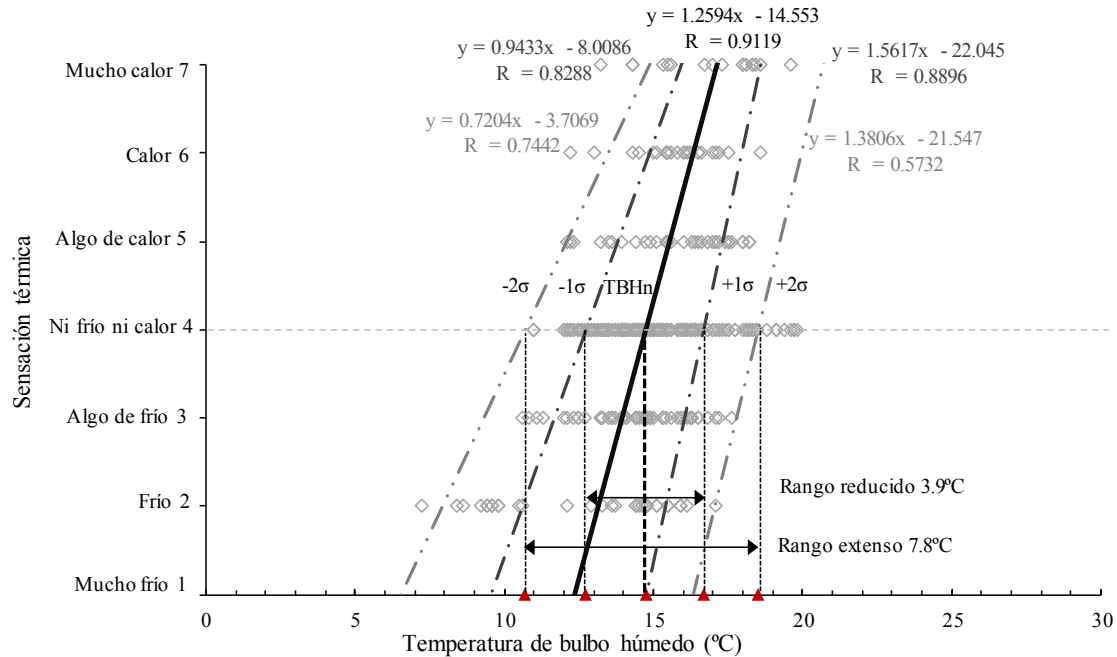
*Fuente: Elaboración propia*

### 5.3 SENSACIÓN TÉRMICA POR TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO

En este apartado se presenta la correlación de la sensación térmica percibida con temperatura de bulbo húmedo (TBH); Se exponen los valores de temperatura de bulbo húmedo neutrales por periodo analizado y los rangos de confort  $\pm 1\sigma$  (reducido) y  $\pm 2\sigma$  (extenso) resultantes de la aplicación del método MIST.

### 5.3.1 Evaluación anual

La evaluación anual de sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo muestra que el 6.4% de las observaciones están fuera de la zona de confort hacia los límites  $\pm 2\sigma$ , lo cual significa que no todas las viviendas presentan condiciones higrotérmicas aceptables para los sujetos (10.7°C - 18.5°C).



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TBHn	+1σ	+2σ
			10.70	12.73	14.73	16.68	18.50
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TBH Media	+1σ	+2σ
Frío	2	2.83	7.10	9.93	12.75	15.58	18.41
Algo de frío	3	1.52	11.43	12.95	14.47	15.99	17.51
Ni frío ni calor	4	1.84	11.34	13.18	15.02	16.86	18.70
Algo de calor	5	1.80	12.27	14.07	15.87	17.67	19.47
Calor	6	1.39	13.03	14.42	15.80	17.19	18.58
Mucho calor	7	1.83	13.19	15.02	16.85	18.69	20.52

TBHn: Temperatura de bulbo húmedo neutral σ: desviación estándar

**Figura 37** Sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo (TBH) evaluación anual

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de la **Figura 37** se observa que las líneas de regresión de  $-2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son convergentes con respecto a la línea de regresión media conforme aumento la sensación de “ni frío ni calor” a “mucho calor”, lo cual indica que conforme aumento la sensación térmica de calor se redujo la capacidad de adaptación; la línea de regresión  $+2\sigma$  muestra un comportamiento opuesto, es convergente hacia las sensaciones de frío, lo que significa que cuando la temperatura de bulbo húmedo es mayor a  $16.6^{\circ}\text{C}$  la capacidad de adaptación hacia estas condiciones se reduce.

La **Figura 37** se muestra que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) más bajo es el de la línea  $+2\sigma$  que tiene una diferencia del 44% con respecto al de línea TBHn, sin embargo, los valores son mayores a 0.5 lo cual de acuerdo a lo planteado anteriormente, es estadísticamente representativo, por lo que se valida la representatividad de las ecuaciones y por lo tanto los valores neutrales.

En la parte inferior de la figura **Figura 37** se observa que los valores de desviación estándar tienden a disminuir de la sensación “ni frío ni calor” hacia los extremos, lo cual fenomenológicamente representa que conforme aumenta la sensación de frío o calor la capacidad de adaptación de los sujetos se reduce, sin embargo las sensaciones de “frío” y “mucho calor” no es congruente con lo anterior, lo cual indica que los sujetos lograron aclimatarse a las condiciones higrotermicas hasta éstas sensaciones.

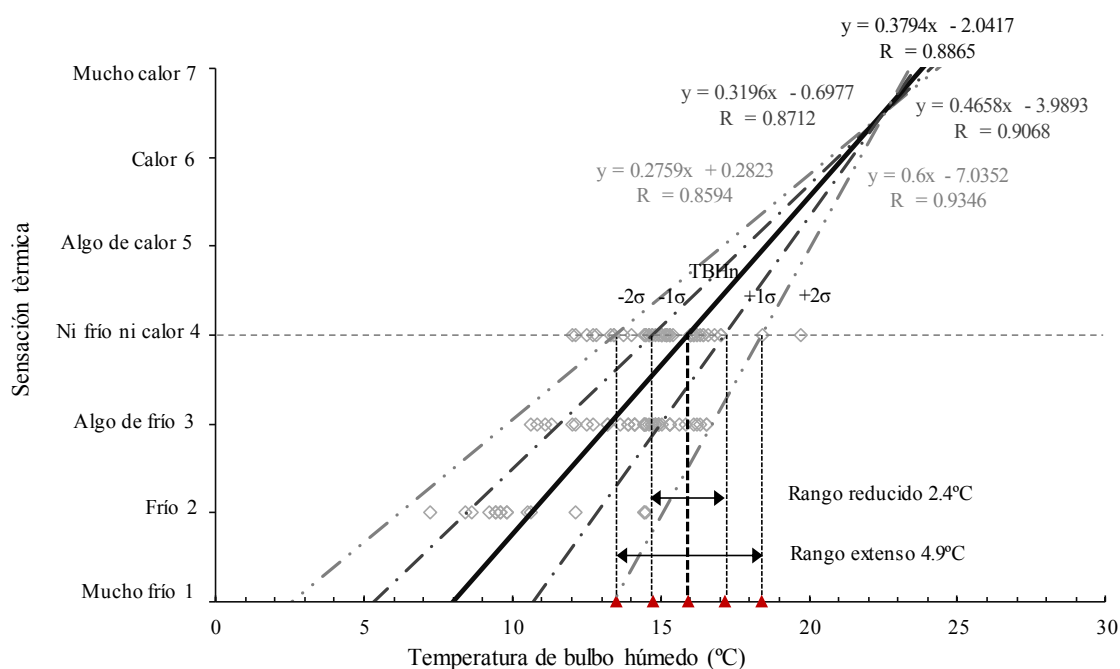
### **5.3.1 Periodo frío**

El análisis de sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo en este periodo presenta el 28.9% de las observaciones fuera de la zona de confort Higrotérmico hacia los límites  $\pm 2\sigma$ , lo que significa no todas las viviendas presentaron condiciones higrotérmicas aceptables por los sujetos.

En la gráfica de la **Figura 38** se observa que las líneas de regresión de  $\pm 2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son divergentes con respecto a la línea de regresión media conforme aumenta la sensación de frío, lo anterior se puede interpretar como que los sujetos están adaptados a las condiciones higrotérmicas del periodo frío. Sin embargo, la tendencia de las líneas es negativa, lo cual indica que los sujetos tienen una preferencia hacia temperaturas de bulbo húmedo entre los  $13.4^{\circ}\text{C}$  y  $18.3^{\circ}\text{C}$ . Los valores de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de todas las líneas son mayores a 0.85, lo cual de acuerdo a lo planteado anteriormente, es estadísticamente representativo, por lo que se valida la representatividad de las ecuaciones y por lo tanto los valores neutrales.

La **Figura 38**, muestra los rangos de confort higrotérmico, en donde el reducido ( $\pm 1\sigma$ ) es de  $2.4^{\circ}\text{C}$  y el extenso ( $\pm 2\sigma$ ) es de  $4.9^{\circ}\text{C}$ , los cuales en comparación con los límites de la evaluación anual tienen una diferencia del 38% y 37% respectivamente, lo anterior indica que los rangos de adaptación a temperatura de bulbo húmedo son menores para condiciones de frío.

En la **Figura 38** se observa que los valores de desviación estándar incrementan hacia las sensaciones de frío (2,3), estadísticamente esto significa que las respuestas de las sensaciones “algo de frío” y “frío” tienen mayor posibilidad de error, sin embargo, fenomenológicamente significa que los sujetos están adaptados a las condiciones higrotérmicas de éste periodo y tienen mayor capacidad de adaptación conforme aumenta la sensación de frío.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TBHn	+1σ	+2σ
			13.47	14.70	15.92	17.15	18.39
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TBH Media	+1σ	+2σ
Frío	2	2.23	6.01	8.24	10.47	12.70	14.93
Algo de frío	3	1.47	11.31	12.78	14.25	15.73	17.20
Ni frío ni calor	4	1.45	12.24	13.69	15.14	16.59	18.04

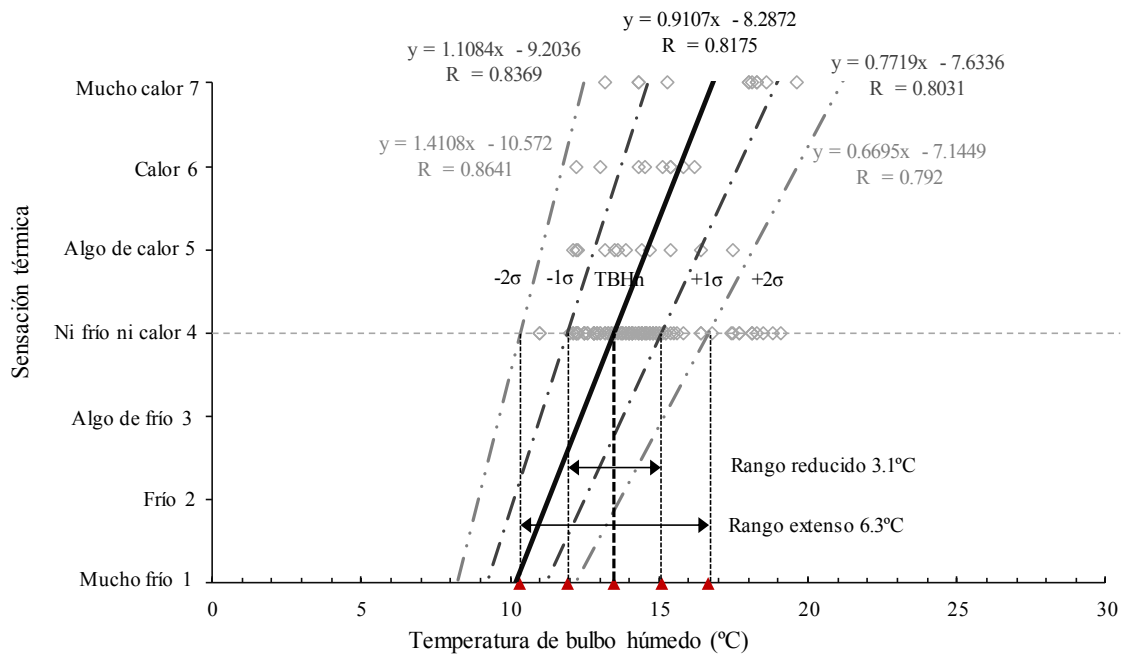
TBHn: Temperatura de bulbo húmedo neutral    σ: desviación estándar

**Figura 38** Sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo (TBH) en periodo frío

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.3.2 Periodo cálido

La sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo en éste periodo, muestra el 15.5% de las observaciones de las sensaciones “ni frío ni calor”, “algo de calor” y “mucho calor” fuera de la zona de confort hacia el límite  $+2\sigma$ , lo que indica que no todas las viviendas presentan condiciones higrotérmicas aceptables para los sujetos ( $10.3^{\circ}\text{C} - 16.6^{\circ}\text{C}$ ).



		NEUTRAL					
			-2σ	-1σ	TBHn	+1σ	+2σ
			10.33	11.91	13.49	15.07	16.65
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TBH Media	+1σ	+2σ
Ni frío ni calor	4	1.77	10.77	12.53	14.30	16.07	17.83
Algo de calor	5	1.69	10.73	12.41	14.10	15.79	17.47
Calor	6	1.86	11.53	13.39	15.25	17.11	18.97
Mucho calor	7	2.18	12.54	14.72	16.91	19.09	21.28

TBHn: Temperatura de bulbo húmedo neutral    σ: desviación estándar

**Figura 39** Sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo (TBH) en periodo cálido

*Fuente: Elaboración propia*

En la gráfica de la **Figura 39** se observa que las líneas de regresión de  $\pm 2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son divergentes con respecto a la línea de regresión media conforme aumenta la sensación de “ni frío ni calor” a “mucho calor”, lo cual representa que los sujetos tienen mayor capacidad de adaptación hacia las sensaciones de calor, lo anterior es lógico para el periodo cálido e indica que los sujetos están adaptados a las condiciones higrotérmicas del este periodo. Los valores de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de todas las líneas son mayores a 0.75, lo cual de acuerdo a lo establecido anteriormente, son valores estadísticamente muy representativos, por lo que se valida la representatividad de las ecuaciones y por lo tanto los valores neutrales.

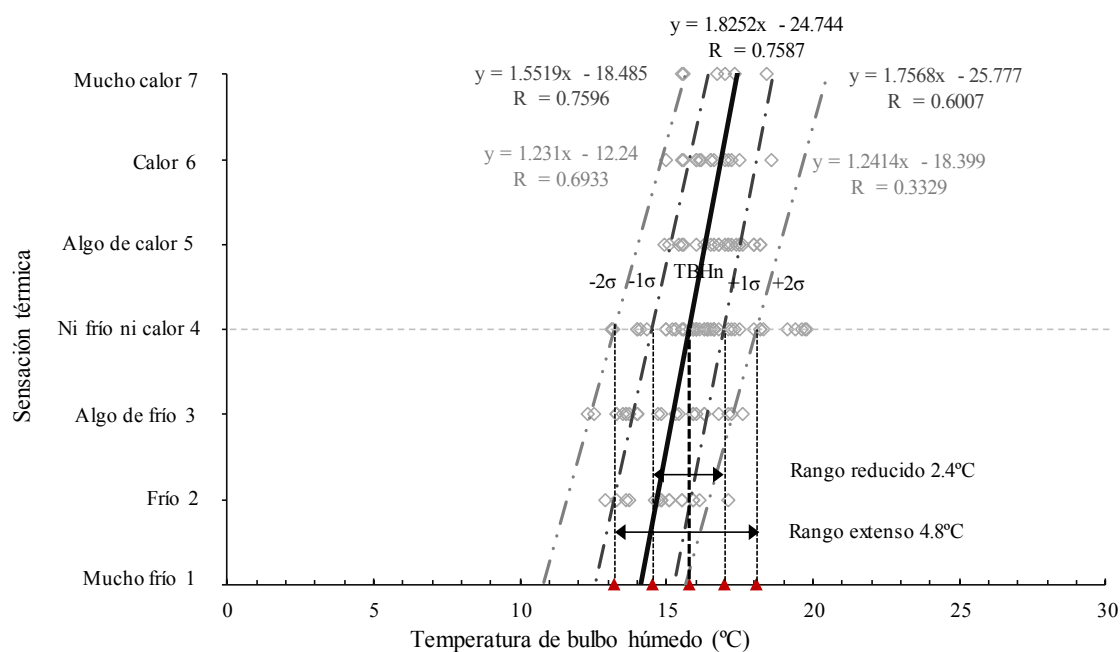
La **Figura 39** muestra un ligero aumento en los valores de desviación estándar de las sensaciones de “calor” y “mucho calor” con respecto a la sensación “ni frío ni calor”, lo anterior es similar a lo ocurrido en el periodo frío; sin embargo, la sensación de “algo de calor” es incongruente con lo anterior, lo que significa que los sujetos no lograron adaptarse a estas condiciones.

### **5.3.3 Periodos de transición**

En los periodos de transición, el análisis de sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo muestra que el 12.7% de las observaciones están fuera de la zona de confort higrotérmica hacia los límites de  $\pm 2\sigma$ , lo que indica no todas las viviendas presentan condiciones higrotérmicas aceptables por los sujetos ( $13.1^{\circ}\text{C}$  -  $18.4^{\circ}\text{C}$ ).

En la gráfica de la **Figura 40** se observa que las líneas de regresión de  $-2\sigma$  y  $-1\sigma$  son ligeramente convergentes hacia las sensaciones de calor (5-7) y las líneas  $+2\sigma$  y  $+1\sigma$  convergen hacia las sensaciones de frío (2,3), lo anterior se debe a que cuando las temperaturas de bulbo húmedo son menores a  $15.7^{\circ}\text{C}$  la preferencia de los sujetos es hacia condiciones cálidas, y cuando las temperaturas son mayores ocurre lo contrario. Sin embargo el coeficiente de terminación ( $R^2$ ) de la línea de regresión  $+2\sigma$  es menor a 0.5, por lo que el valor no es estadísticamente representativo según lo antes establecido.

La **Figura 40** muestra una disminución en los valores de desviación estándar de la sensación “ni frío ni calor” hacia la sensación de “frío” y “calor” ya que el valor de “mucho calor” fue inconsistente la disminución. Esto indica que los sujetos no se adaptaron a las condiciones higrotérmicas del ambiente interior en esta sensación.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TBHn	+1σ	+2σ
			13.19	14.49	15.75	16.95	18.04
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TBH Media	+1σ	+2σ
Frío	2	1.09	12.73	13.82	14.91	15.99	17.08
Algo de frío	3	1.55	11.77	13.33	14.88	16.43	17.98
Ni frío ni calor	4	1.64	13.02	14.67	16.31	17.95	19.60
Algo de calor	5	0.99	14.81	15.80	16.80	17.79	18.79
Calor	6	0.90	14.69	15.59	16.49	17.39	18.29
Mucho calor	7	1.09	14.56	15.66	16.75	17.84	18.94

TBHn: Temperatura de bulbo húmedo neutral σ: desviación estándar

**Figura 40** Sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo (TBH) en periodos de transición

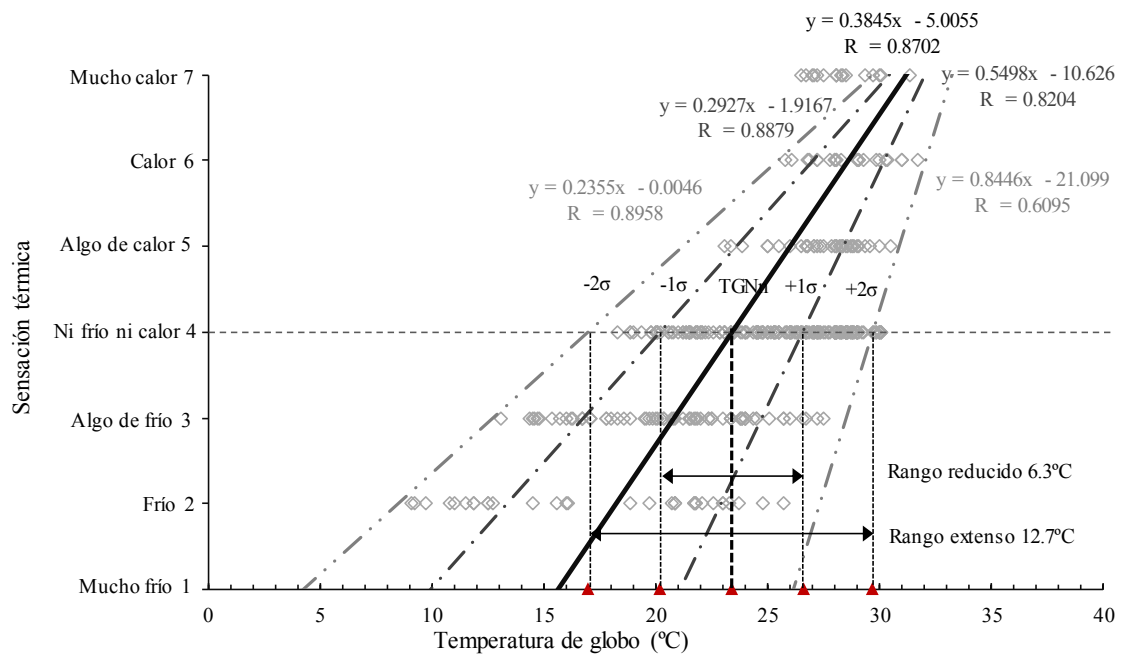
*Fuente: Elaboración propia*

#### 5.4 SENSACIÓN TÉRMICA POR TEMPERATURA DE GLOBO NEGRO

En este apartado se presenta la correlación de la sensación térmica percibida con temperatura de globo negro (TGN); se exponen los valores de temperatura de globo neutrales por periodo analizado y los rangos de confort  $\pm 1\sigma$  (reducido) y  $\pm 2\sigma$  (extenso) resultantes de la aplicación del método MIST.

### 5.4.1 Evaluación anual

La evaluación anual de sensación térmica por temperatura de globo negro muestra que el 13.7% de las observaciones están fuera de la zona de confort hacia los límites  $\pm 2\sigma$  en todas las sensaciones, lo que indica que algunas viviendas no presentan las condiciones térmicas aceptables por los sujetos (17.0 °C – 29.72 °C).



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TGNn	+1σ	+2σ
			17.00	20.21	23.42	26.60	29.72
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TGN Media	+1σ	+2σ
Frío	2	5.30	7.04	12.34	17.64	22.94	28.25
Algo de frío	3	3.65	13.36	17.02	20.67	24.32	27.98
Ni frío ni calor	4	3.02	19.56	22.57	25.59	28.60	31.62
Algo de calor	5	1.80	23.87	25.67	27.47	29.27	31.07
Calor	6	1.63	25.33	26.95	28.58	30.21	31.84
Mucho calor	7	1.36	25.63	26.99	28.36	29.72	31.09

TGNn: Temperatura de globo negro neutral σ: desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

**Figura 41** Sensación térmica por temperatura de globo negro (TGN) evaluación anual



En la gráfica de la **Figura 41** se observa que las líneas de regresión  $\pm 2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son divergentes con respecto a la línea de regresión media (TGNn) hacia las sensaciones de frío (2,3) lo que significa que la capacidad de adaptación de los sujetos es mayor en estas sensaciones, sin embargo la tendencia de las líneas es negativa, por lo que la preferencia de temperatura anualmente tiende a ser hacia condiciones térmicas entre los 17.0 °C y 29.7 °C. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de todas las líneas es mayor a 0.5, lo cual de acuerdo a lo establecido en la metodología, son valores estadísticamente representativos, por lo que se valida la representatividad de las ecuaciones y por lo tanto los valores neutrales.

La **Figura 41**, en la parte inferior, presenta los valores de desviación estándar de todas las sensaciones, y se observa un incremento que a partir de la sensación de “ni frío ni calor” hacia las sensaciones de frío (2,3), mientras que hacia las sensaciones de calor (5-7) se observa una disminución significativa; estadísticamente esto significa que hubo menor posibilidad de error en las respuestas de las sensaciones 5-7, sin embargo fenomenológicamente indica que los sujetos que expresaron sensación de calor tienen menor capacidad de adaptación a las condiciones térmicas del ambiente interior.

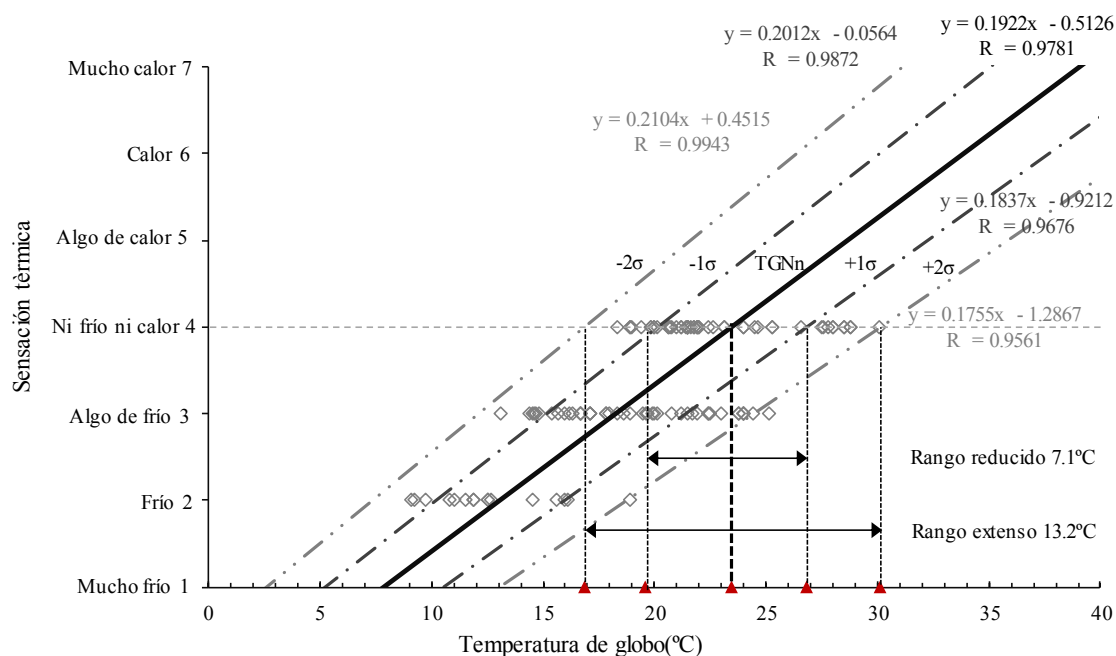
#### **5.4.2 Periodo frío**

El análisis de sensación térmica por temperatura de globo negro en este periodo, presenta un 25.4% de las observaciones totales fuera de la zona de confort térmico hacia el límite  $-2\sigma$  en las sensaciones de “frío y algo de frío”, lo cual significa que algunas viviendas no presentan las condiciones térmicas aceptables por los sujetos en este periodo.

En la gráfica de la **Figura 42** se observa que las líneas de regresión de  $\pm 2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  visualmente son paralelas a la línea de regresión media, sin embargo presentan son divergente ligeramente de la sensación de “frío” a “ni frío ni calor”, lo cual indica que los sujetos tienen mayor capacidad de adaptación a temperaturas entre 16.8 °C y 30.1 °C. La tendencia de todas las líneas es negativa lo que confirma lo anterior, que los sujetos tienden a preferir un incremento de temperatura en este periodo.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de todas las líneas de regresión es mayor a 0.95, lo que de acuerdo a lo planteado en la metodología, es un estadísticamente representativo, lo que valida la representatividad de las ecuaciones y por lo tanto los valores neutrales.

En la parte inferior de **Figura 42** se observa que los valores de desviación estándar entre la sensación de “ni frío ni calor” y “frío” tienen una ligera disminución, sin embargo, la sensación “algo de frío” es incongruente con lo anterior, lo que indica que la adaptación de los sujetos en esta periodo es hasta ésta sensación.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TGNn	+1σ	+2σ
			16.87	19.60	23.48	26.79	30.12
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TGN Media	+1σ	+2σ
Frío	2	2.78	7.18	9.96	12.74	15.52	18.31
Algo de frío	3	3.31	12.53	15.84	19.15	22.46	25.78
Ni frío ni calor	4	3.14	16.63	19.78	22.92	26.06	29.20

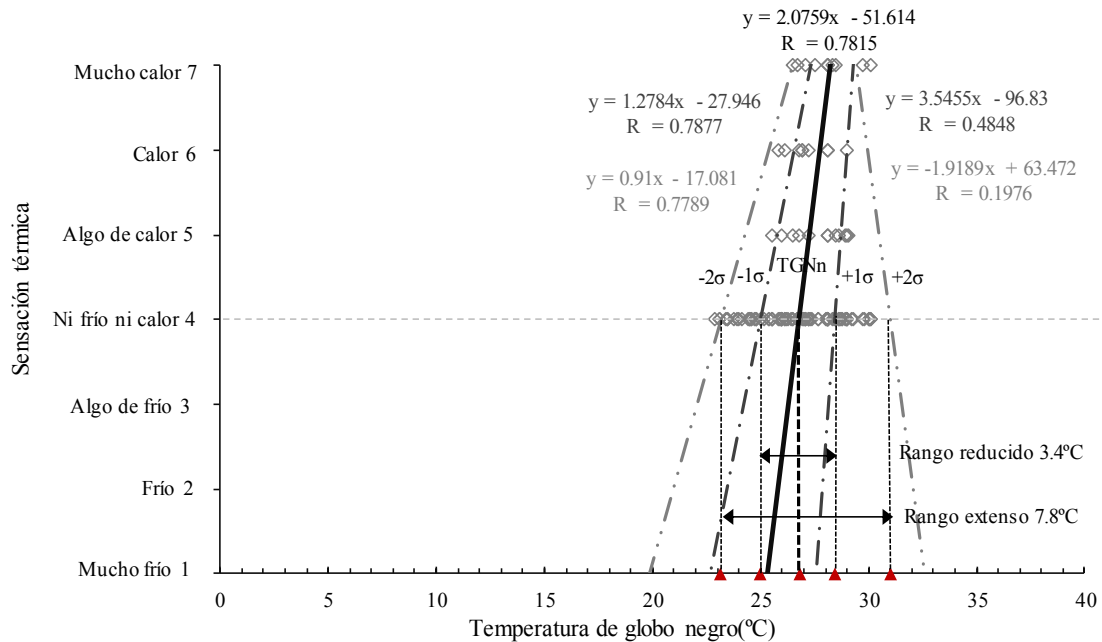
TGNn: Temperatura de globo negro neutral σ: desviación estándar

**Figura 42** Sensación térmica por temperatura de globo negro (TGN) en periodo frío

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.4.3 Periodo cálido

El análisis de sensación térmica por temperatura de globo negro solo presento el 2% de las observaciones fuera de la zona de confort térmico, por lo que se podría generalizar a que todas las viviendas tienen condiciones térmicas aceptables por los sujetos; sin embargo, solo el 75.2% de las observaciones dicen sentir “ni frío ni calor”, lo cual indica que la sensación térmica en este periodo es afectada por otras variables, en este caso por la actividad metabólica y arropamiento, ya que el 62.5% de los sujetos que dicen sentir “algo de calor”, “calor” y “mucho calor” realizan actividades mayores a los 100W/m<sup>2</sup>, y visten entre ligero y normal (0.7 – 1.0clo) lo cual favorece la percepción de calor.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TGNn	+1σ	+2σ
			23.17	24.99	26.79	28.44	30.99
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TGN Media	+1σ	+2σ
Ni frío ni calor	4	1.89	22.98	24.87	26.76	28.64	30.53
Algo de calor	5	1.25	25.20	26.45	27.69	28.94	30.18
Calor	6	1.14	25.26	26.40	27.54	28.68	29.82
Mucho calor	7	1.12	25.82	26.94	28.06	29.19	30.31

TGNn: Temperatura de globo negro neutral    σ: desviación estándar

**Figura 43** Sensación térmica por temperatura de globo negro (TGN) en periodo cálido

*Fuente: Elaboración propia*

En la **Figura 43** se observa que las líneas de regresión de  $-2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son divergentes hacia las sensaciones de frío, lo que representa mayor capacidad de adaptación en estas sensaciones; la línea de regresión  $+2\sigma$  tiene una tendencia opuesta, lo que da mayor amplitud al límite superior, sin embargo los coeficientes de determinación para las líneas  $+1\sigma$  y  $+2\sigma$  son menores a 0.5, por lo que de acuerdo a lo antes establecido, no son valores representativos en el análisis.

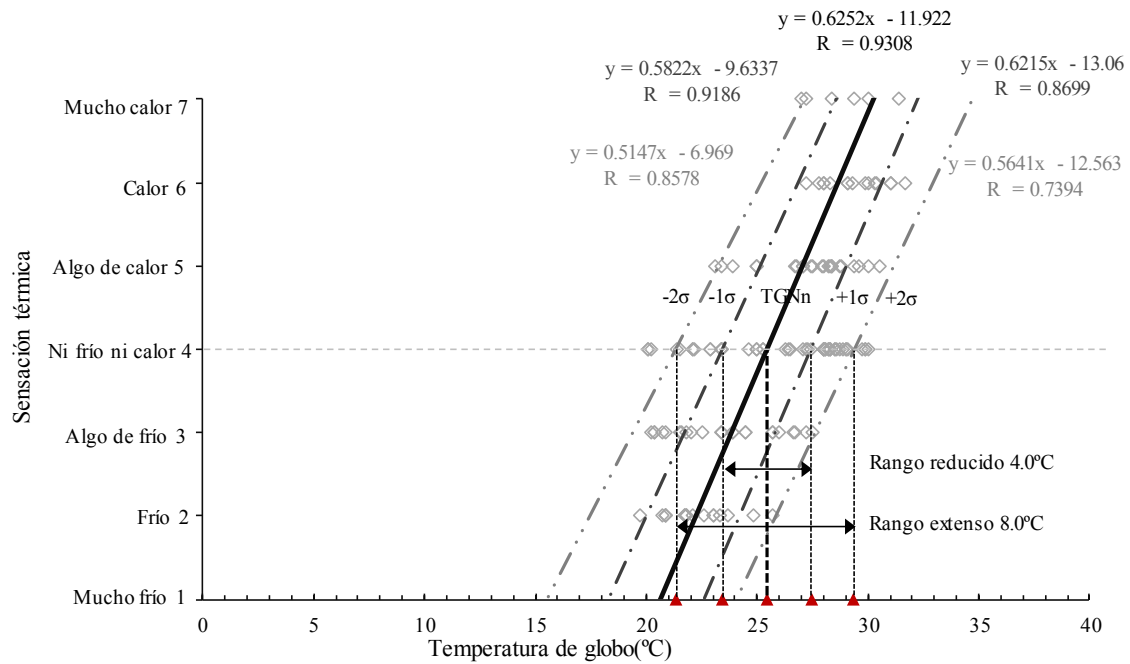
En la parte inferior de la **Figura 43** se distingue una disminución en los valores de desviación estándar con respecto a la sensación “ni frío ni calor” hacia el extremo, estadísticamente esto indica que en las sensaciones 5-7 hay menor posibilidad de error, sin embargo fenomenológicamente significa que la capacidad de adaptación es menor conforme aumenta la sensación de calor.

#### **5.4.4 Periodos de transición**

En los periodos de transición, el análisis de sensación térmica por temperatura de globo negro presenta el 23.1% de las observaciones fuera de la zona de confort térmico hacia los límites  $\pm 2\sigma$  en todas las sensaciones, lo cual indica que no todas las viviendas tienen condiciones térmicas aceptables por los sujetos (21.3°C - 29.3°C).

En la gráfica de la **Figura 44** se observa que las líneas de regresión de  $-2\sigma$  y  $-1\sigma$  visualmente son paralelas con respecto a la línea de regresión media, sin embargo son convergentes ligeramente conforme aumenta la sensación de “mucho calor”, lo opuesto ocurre para las líneas de regresión de  $+2\sigma$  y  $+1\sigma$  que son convergentes ligeramente conforme aumenta la sensación de “frío”, debido a que cuando la temperatura de globo negro es menor a 25.4°C los sujetos muestran mayor capacidad de adaptación hacia las sensaciones 2 y 3, y cuando la temperatura es mayor, la capacidad de adaptación se da en las sensaciones 5-7, lo anterior se puede interpretar como que los sujetos están adaptados a condiciones térmicas tanto de frío como de calor de este periodo.

En la parte inferior de la **Figura 44** se muestra una disminución en los valores de desviación estándar de la sensación “ni frío ni calor” hacia los extremos, lo cual fenomenológicamente indica que conforme aumentaron las sensaciones de frío y calor la capacidad los rangos de adaptación se redujesen; para el caso de la sensación de calor fue incongruente con lo anterior, lo que significa que la capacidad de adaptación de los sujetos es hasta la sensación de “calor”.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	TGNn	+1σ	+2σ
			21.31	23.42	25.47	27.45	29.36
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	TGN Media	+1σ	+2σ
Frío	2	1.55	19.16	20.71	22.25	23.80	25.35
Algo de frío	3	2.34	18.83	21.17	23.52	25.86	28.20
Ni frío ni calor	4	<b>2.96</b>	<b>20.25</b>	<b>23.20</b>	<b>26.16</b>	<b>29.11</b>	<b>32.07</b>
Algo de calor	5	2.05	23.26	25.31	27.36	29.40	31.45
Calor	6	1.35	26.70	28.06	29.41	30.76	32.11
Mucho calor	7	1.70	25.50	27.20	28.90	30.60	32.30

TGNn: Temperatura de globo negro neutral σ: desviación estándar

**Figura 44** Sensación térmica por temperatura de globo negro (TGN) en periodos de transición

*Fuente: Elaboración propia*

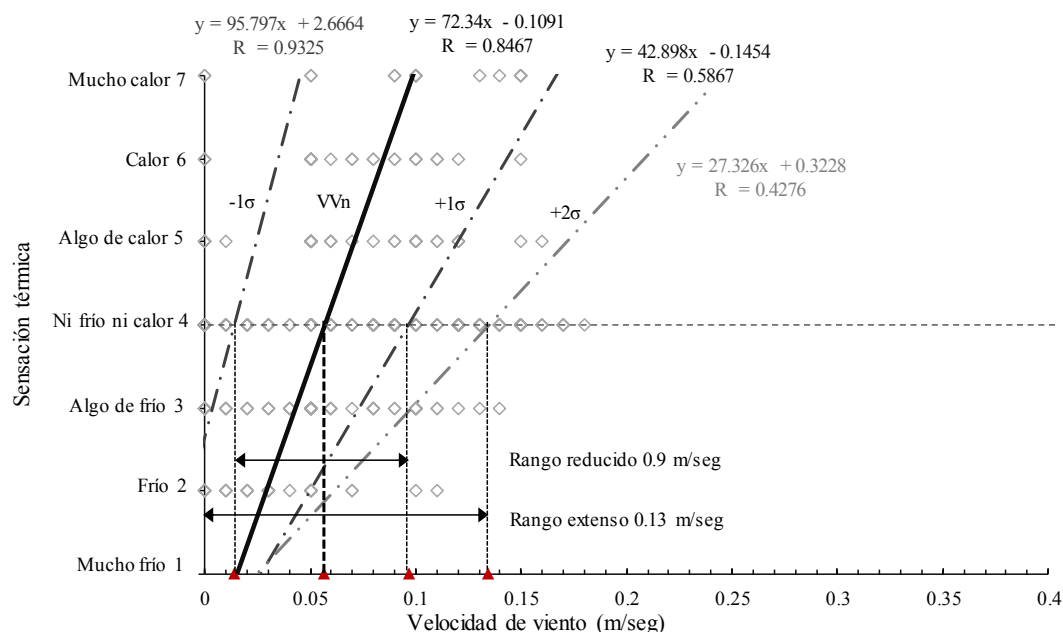
## 5.5 SENSACIÓN TÉRMICA POR VELOCIDAD DE VIENTO

En este apartado se presenta la correlación de la sensación térmica percibida con velocidad de viento (VV); se exponen los valores de velocidad de viento neutrales por periodo analizado y los rangos de confort  $\pm 1\sigma$  (reducido) y  $\pm 2\sigma$  (extenso) resultantes de la aplicación del método MIST.

Es importante mencionar que en la evaluación anual, periodo frío y de transición algunos de los valores de  $-2\sigma$  no fueron contemplados, ya que el resultado fue en valor negativo, por lo que se considera = a 0.

### 5.5.1 Evaluación anual

La evaluación anual de sensación térmica por velocidad de viento muestra que el 9.5% de las observaciones están fuera de la zona de confort hacia el límite  $+2\sigma$  en las sensaciones “algo de frío”, “ni frío ni calor”, “algo de calor”, “calor” y “mucho calor”, lo que indica que algunas viviendas no presentan las condiciones de viento aceptables por los sujetos (0.0 – 0.13m/s). Sin embargo, es importante mencionar que las velocidades de viento registradas en las viviendas durante el trabajo de campo son inapreciables, según lo establecido por Mondelo (2001), el ser humano comienza a percibir una brisa ligera a partir de los 0.25m/s.



		NEUTRAL					
			-2σ	-1σ	VVn	+1σ	+2σ
				0.01	0.06	0.10	0.13
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	VV Media	+1σ	+2σ
Frío	2	0.03		0.00	0.03	0.06	0.09
Algo de frío	3	0.04		0.01	0.05	0.09	0.13
Ni frío ni calor	4	0.07		0.01	0.07	0.14	0.21
Algo de calor	5	0.04		0.02	0.07	0.11	0.16
Calor	6	0.04		0.03	0.07	0.11	0.15
Mucho calor	7	0.05	0.00	0.05	0.10	0.15	0.19

VVn: Velocidad de viento neutral σ: desviación estándar

**Figura 45** Sensación térmica por velocidad de viento (VV) evaluación anual

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de la **Figura 45** se observa que las líneas de regresión  $+2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son convergentes con respecto a la línea de regresión media (VVn) hacia las sensaciones de frío (2,3) lo que significa que la capacidad de adaptación de los sujetos es menor en estas sensaciones, sin embargo la tendencia de las líneas es negativa, por lo que la preferencia de los sujetos anualmente tiende a ser hacia el incremento en las velocidades de viento.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de las líneas  $\pm 1\sigma$  y VVn es mayor a 0.5, lo cual de acuerdo a lo establecido en la metodología, son valores estadísticamente representativos, por lo que se valida la representatividad de las ecuaciones y por lo tanto los valores neutrales. Sin embargo los valores del  $R^2$  de las líneas  $\pm 2\sigma$  son menores, por lo que en este caso se decide no incluir el rango extenso de la zona de confort por velocidad de viento debido a que no es estadísticamente representativa para la muestra.

En la parte inferior de la **Figura 45** se muestra un incremento en los valores de desviación estándar a partir de la sensación de “ni frío ni calor” hacia los extremos, estadísticamente esto significa que hubo menor posibilidad de error en las respuestas de las sensaciones 2, 3, 5-7, sin embargo fenomenológicamente indica que los sujetos que expresaron sensación de frío o calor tienen menor capacidad de adaptación a las condiciones térmicas del ambiente interior.

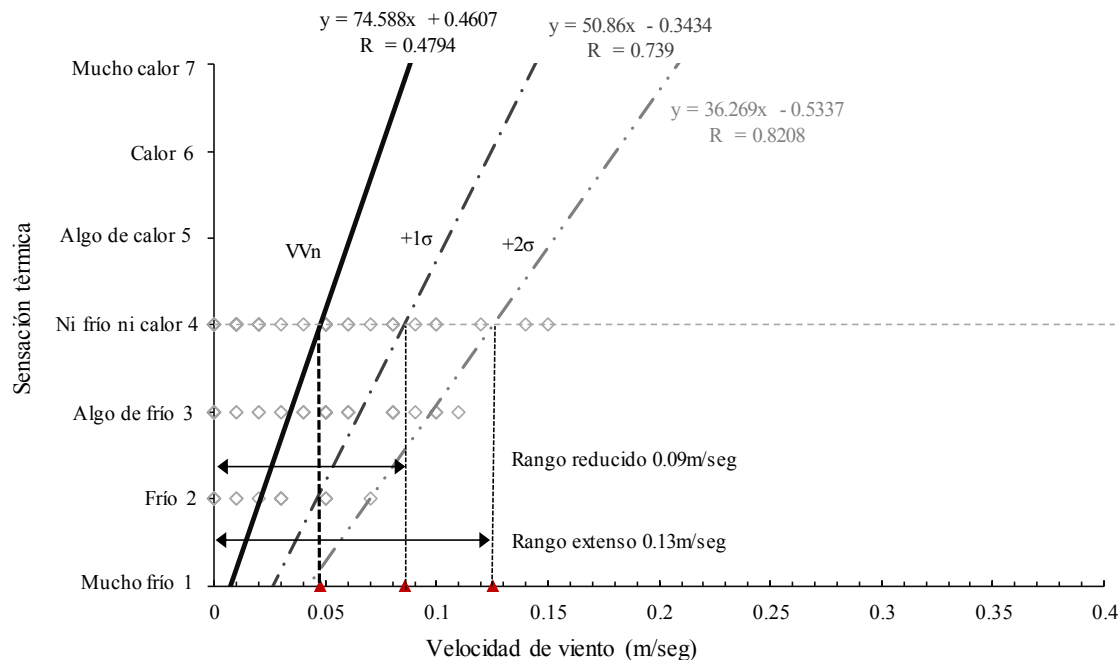
### **5.5.2 Periodo frío**

El análisis de sensación térmica por velocidad de viento en este periodo, muestra únicamente dos observaciones fuera de la zona de confort hacia el límite  $+2\sigma$  en la sensación “ni frío ni calor”, por lo que se puede generalizar que todas las viviendas analizadas en este periodo presentan condiciones de viento aceptables por los sujetos (0.0 – 0.13m/s).

En la gráfica de la **Figura 46** se observa que las líneas de regresión  $\pm 2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son convergentes con respecto a la línea de regresión media (VVn) hacia las sensaciones de frío (2,3) lo que significa que la capacidad de adaptación de los sujetos a las condiciones de viento es menor en estas sensaciones; en la tabla de valores neutrales se observa que los límites  $-2\sigma$  y  $-1\sigma$  son negativos, lo que significa que el límite inferior de adaptación es igual a cero y el superior ( $+2\sigma$ ) de 0.13m/s, igual que en la evaluación anual, la velocidad de viento es inapresable para el ser humano, lo cual es lógico en esta temporada para evitar el enfriamiento convectivo.

En la parte inferior de la **Figura 46** se muestra que los valores de desviación estándar disminuyen a partir de la sensación de “ni frío ni calor” hacia la de “frío”, estadísticamente esto significa que hubo menor posibilidad de error en las respuestas de las sensaciones 2 y 3, sin embargo fenomenológicamente indica que los sujetos que expresaron sensación de “frío” y “algo de frío” tienen menor capacidad de adaptación a las a la velocidad de viento en el ambiente interior.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de las líneas  $\pm 2\sigma$  y  $+1\sigma$  es mayor a 0.5, lo cual de acuerdo a lo establecido en la metodología, son valores estadísticamente representativos; sin embargo los valores del  $R^2$  de las líneas  $-1\sigma$  y VVn son menores, lo que indica que en este caso la sensación térmica por velocidad de viento no es estadísticamente representativa.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	VVn	+1σ	+2σ
					0.05	0.09	0.13
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	VV Media	+1σ	+2σ
Frío	2	0.022		0.001	0.024	0.046	0.069
Algo de frío	3	0.034		0.008	0.042	0.076	0.110
Ni frío ni calor	4	0.039			0.037	0.075	0.114

VVn: Velocidad de viento neutral σ: desviación estándar

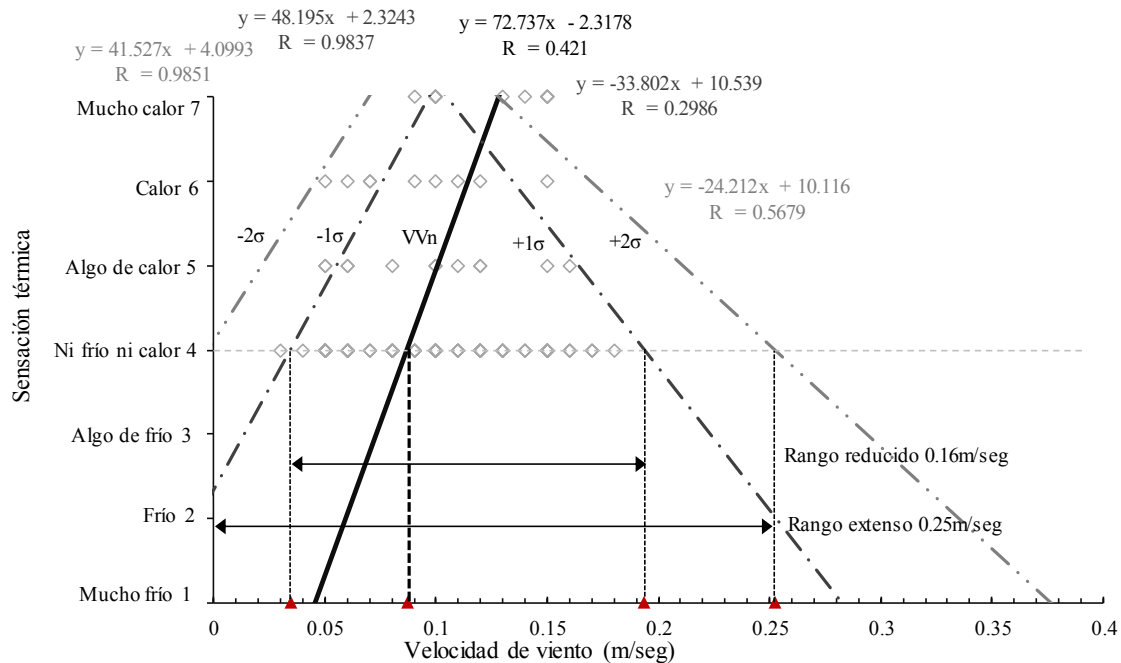
**Figura 46** Sensación térmica por velocidad de viento (VV) en periodo frío

*Fuente: Elaboración propia*



### 5.5.3 Periodo cálido

El análisis de sensación térmica por velocidad de viento en este periodo, no muestra observaciones fuera de la zona de confort, lo que significa que todas las viviendas presentan velocidades de viento aceptables por los sujetos; sin embargo, el 32% de las observaciones dicen sentir “algo de calor”, “calor” y “mucho calor”, lo que indica que la sensación térmica percibida es afectada por otras variables como la actividad metabólica, ya que el 62% de las observaciones en estas sensaciones realizan actividades mayores a los 100W/m<sup>2</sup>, y la velocidad de viento promedio en esta temporada es de 0.10m/s lo cual no favorece el enfriamiento convectivo y la sensación de calor aumenta.



		NEUTRAL	-2σ	-1σ	VVn	+1σ	+2σ
			0.00	0.03	0.09	0.19	0.25
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	VV Media	+1σ	+2σ
Ni frío ni calor	4	0.07	0.00	0.03	0.11	0.18	0.25
Algo de calor	5	0.04	0.02	0.06	0.10	0.13	0.17
Calor	6	0.03	0.04	0.07	0.10	0.13	0.17
Mucho calor	7	0.03	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17

VVn: Velocidad de viento neutral σ: desviación estándar

**Figura 47** Sensación térmica por velocidad de viento (VV) en periodo cálido

*Fuente: Elaboración propia*

La gráfica de la **Figura 47** muestra que las líneas de regresión  $\pm 2\sigma$  y  $\pm 1\sigma$  son convergentes con respecto a la línea de regresión media (VVn) hacia las sensaciones de calor (5-7) lo que significa que la capacidad de adaptación de los sujetos a las condiciones de viento es menor en estas sensaciones; la tendencia de las líneas  $-2\sigma$ ,  $-1\sigma$  y VVn es positiva lo que indica que para velocidades menores a 0.05m/s los sujetos tienden a preferir aumento en la velocidad de viento, y la de las líneas  $+1\sigma$  y  $+2\sigma$  es negativa, lo que indica que para velocidades igual o mayores a 0.28m/s tienden a preferir disminución. En este periodo el límite superior ( $+2\sigma$ ) de la zona de confort es de 0.25m/s lo cual según lo establecido por Mondelo (2001) el ser humano lo percibe como brisa ligera, lo anterior es coherente con el periodo de estudio.

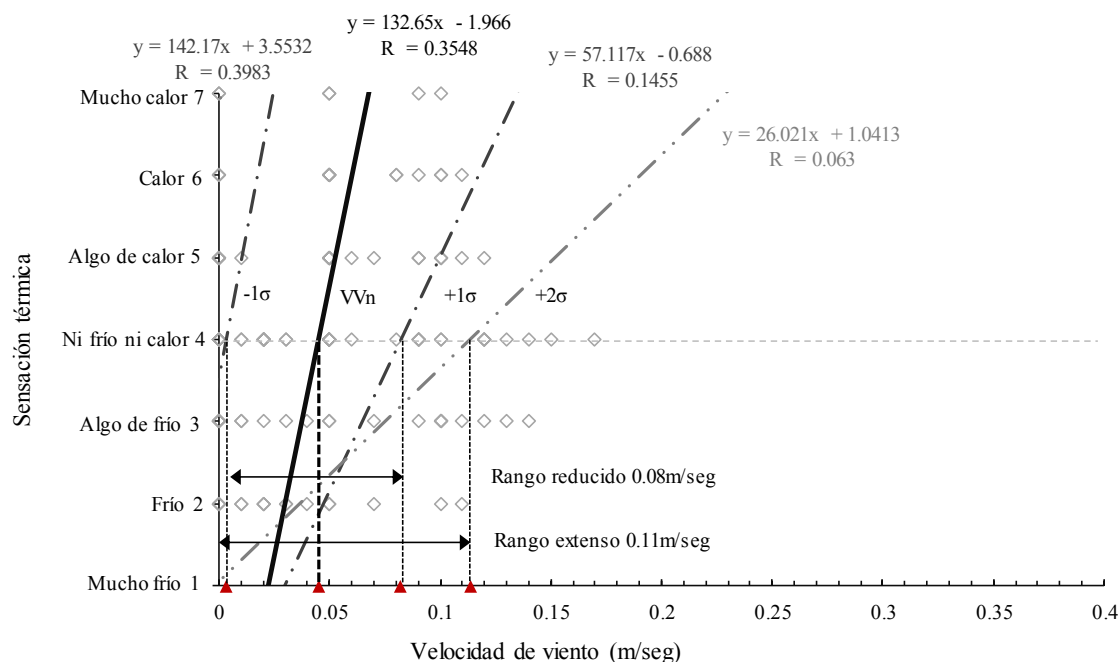
En la parte inferior de la **Figura 47** se muestra que los valores de desviación estándar disminuyen a partir de la sensación de “ni frío ni calor” hacia la de “mucho calor”, estadísticamente esto significa que hubo menor posibilidad de error en las respuestas de las sensaciones 5,6 y 7, sin embargo fenomenológicamente indica que los sujetos que expresaron sensación de “algo de calor” a “mucho calor” tienen menor capacidad de adaptación a las a la velocidad de viento en el ambiente interior.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de las líneas  $\pm 2\sigma$  y  $-1\sigma$  es mayor a 0.5, lo cual de acuerdo a lo establecido en la metodología, son valores estadísticamente representativos; sin embargo los valores del  $R^2$  de las líneas  $+1\sigma$  y VVn son menores, lo que indica que en este caso la sensación térmica por velocidad de viento no es estadísticamente representativa.

#### **5.5.4 Periodos de transición**

El análisis en periodos de transición de la sensación térmica percibida por velocidad de viento muestra que el 9% de las observaciones están fuera de la zona de confort hacia el límite  $+2\sigma$ , lo que significa que algunas viviendas presentan velocidades de viento mayores a las aceptables por los sujetos; en la tabla de valores neutrales se observa que el límite  $-2\sigma$  es negativo, lo que significa que el límite inferior de adaptación es igual a cero y el superior ( $+2\sigma$ ) de 0.11m/s; al igual que en la evaluación anual y en el periodo frío, las velocidades de viento neutrales son inapresables para el ser humano.

En la gráfica de la **Figura 48** se observa que las líneas de regresión  $-2\sigma$  y  $-1\sigma$  son divergentes con respecto a la línea de regresión media (VVn) hacia las sensaciones de frío (2,3), y las líneas  $+2\sigma$  y  $+1\sigma$  son divergentes hacia las sensaciones de calor (5-7), lo que significa que cuando las velocidades de viento son menores a 0.04m/s los sujetos muestran mayor capacidad a condiciones de frío, y cuando es mayor la capacidad de adaptación es hacia las sensaciones de calor.



		NEUTRAL					
			-2σ	-1σ	VVn	+1σ	+2σ
				0.00	0.04	0.08	0.11
Sensación térmica	Escala	σ	-2σ	-1σ	VV Media	+1σ	+2σ
Frío	2	0.03		0.00	0.03	0.07	0.10
Algo de frío	3	0.05		0.00	0.05	0.10	0.15
Ni frío ni calor	4	0.05		0.00	0.05	0.10	0.15
Algo de calor	5	0.04		0.01	0.05	0.09	0.13
Calor	6	0.04		0.02	0.06	0.09	0.13
Mucho calor	7	0.04		0.01	0.05	0.09	0.13

VVn: Velocidad de viento neutral σ: desviación estándar

**Figura 48** Sensación térmica por velocidad de viento (VV) en periodos transición

Fuente: Elaboración propia

En la parte inferior de la **Figura 48** se muestra que los valores de desviación estándar disminuyen a partir de la sensación de “ni frío ni calor” hacia los extremos, estadísticamente esto significa que hubo menor posibilidad de error en las respuestas de las sensaciones 2, 3, 5 – 7, sin embargo fenomenológicamente indica que los sujetos que expresaron sentir frío y calor tienen menor capacidad de adaptación a las a la velocidad de viento en el ambiente interior.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la línea  $+2\sigma$  es de 0.63 y es el mayor, lo que significa que los valores de las demás líneas no son representativos estadísticamente, lo que indica que en este caso la sensación térmica por velocidad de viento no es significativa.

## 5.6 ANÁLISIS COMPARATIVO

En este apartado se presenta el análisis comparativo de los valores neutrales, los límites del rango extenso y reducido de la zona de confort y el coeficiente de determinación de la línea de regresión media por variable meteorológica en cada periodo de estudio, así como la evaluación anual (Ver **Tabla 28**).

La sensación térmica de confort por **temperatura de bulbo seco** muestra una diferencia del 9% en los valores neutrales (n) entre el mayor que es en el periodo cálido y la evaluación anual que es el menor. Los periodos frío y cálido presentan un comportamiento de clima asimétrico, sin embargo, la temperatura neutral tiene una diferencia tan solo del 5%, lo cual es menor en comparación con el estudio realizado en Harbin, China donde encontraron una diferencia de temperaturas neutrales entre el invierno y verano del 9% (Wang, Zhang, Zhao, & He, 2010). El periodo de transición y la evaluación anual presentan todas las sensaciones térmicas excepto la de “mucho frío”, sin embargo, la temperatura neutral tiene una diferencia del 6%, esto se debe a que en la evaluación anual se consideran todos los periodos de estudio.

En comparación de los tres periodos de estudio, el que presenta los valores mayores en amplitud de rangos de confort, es el frío, lo cual es congruente con el clima templado de la ZMVM e indica que los sujetos tienen mayor capacidad de adaptación a las condiciones térmicas en este periodo; el periodo de transición es el que presenta los valores menores, esto se debe a que son periodos de aclimatación en donde las temperaturas tienen mayor oscilación diaria por la transición de frío a calor o viceversa.

Es relevante analizar los límites superiores ( $+2\sigma$ ) de la zona de confort, en donde se observa que el valor en el periodo frío es 2% mayor al del periodo cálido, lo cual indica que aunque las temperaturas en las viviendas pueden llegar a los 28.8 °C el límite máximo de adaptación de los sujetos es de 27.8 °C.

Los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de las líneas de regresión media, muestran una correlación significativa, lo cual quiere decir que la temperatura de bulbo seco tiene efecto sobre la sensación térmica percibida por los sujetos; sin embargo, el  $R^2$  del periodo cálido es de 0.48, lo que significa que solo representa el 48% de la muestra. Por lo que en éste periodo no se considera representativo el efecto que tiene la temperatura de bulbo seco en la percepción térmica. Esto se debe a lo antes mencionado en el apartado 1.1.2, en el cual se discute de la afectación de las condiciones climáticas exteriores previas al trabajo de campo.

La sensación térmica por **humedad relativa** en la evaluación anual, presenta un rango extenso de confort 11% mayor que el propuesto por Serra (1999) para temperaturas entre los 15 °C y 30 °C de 40% a 65%, sin embargo, a pesar de tener mayor amplitud, en la **Tabla 28** se observa que ésta se da hacia humedades relativas menores.

La tendencia de regresión de los periodos frío, transición y evaluación anual es positiva, lo que indica que conforme aumenta la humedad relativa, incrementa la sensación de frío, lo cual es lógico para un clima templado; sin embargo, es importante mencionar que el comportamiento de la humedad relativa en el periodo cálido es diferente a los demás, ya que en este caso la tendencia es negativa, lo que indica que la sensación térmica de calor es proporcional al incremento de humedad relativa, lo anterior es similar a lo dicho por Givoni (2003). Éste periodo presenta los rangos de confort por humedad relativa con mayor amplitud, sin embargo, ésta es hacia los límites inferiores, es decir, hacia humedades entre los 29.6% y 6.34%, lo anterior confirma que en el periodo cálido a mayor humedad relativa se incrementa la sensación de calor.

En la **Tabla 28** se observa que los valores de HRn no tienen una diferencia mayor al 10% de humedad relativa entre sí, lo que se puede interpretar que los sujetos tienen una adaptación muy similar en todos los periodos; sin embargo, los valores obtenidos en los límites de  $-2\sigma$  y  $-1\sigma$  presentan variaciones significativas entre sí.

El periodo de transición presenta los rangos de la zona de confort por humedad relativa menores, lo cual es similar a lo ocurrido en el análisis de TBS; el periodo cálido es el que presenta los valores mayores, lo cual significa que la mayor capacidad de adaptación de los sujetos es en este periodo; sin embargo, el límite superior ( $+2\sigma$ ) mayor, es el del periodo frío, lo que significa que los sujetos están adaptados a humedades relativas hasta del 52%, y esto ocurre en el periodo frío.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) menor es el de la evaluación anual, sin embargo, esta dentro del rango permisible, por lo que en este caso, todos los periodos son válidos debido a su representatividad en la sensación térmica percibida.

Los rangos de confort por **temperatura de bulbo húmedo** en evaluación anual, tanto el reducido ( $\pm 1\sigma$ ) como el extenso ( $\pm 2\sigma$ ) son 26% menores que el análisis de TBS (Ver **Tabla 28**), lo que indica que los sujetos tienen menor capacidad de adaptación a las condiciones térmicas de ambiente interior en presencia de humedad. Sin embargo, estos son los que presentan mayor amplitud en el análisis de TBH, lo anterior se debe a que la evaluación anual incluyen los tres periodos analizados.

Los valores de TBHn en los periodos de frío y calor son 28% y 42% menores a los valores de TBSn respectivamente; lo que indica la preferencia de ambientes no saturados de humedad, ya que como se mencionó anteriormente, conforme aumenta la saturación de humedad en el espacio, se incrementa la sensación de frío o calor.

El periodo cálido presenta un comportamiento similar al del análisis de HR, lo que indica que la presencia de humedad en el ambiente tiene mayor afectación en la sensación térmica percibida que la TBS. Lo anterior se confirma con el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la línea de regresión media de TBH que es 41% mayor que el de TBS.

El análisis de temperatura de bulbo húmedo presenta coeficientes de determinación ( $R^2$ ) mayores a 0.75 en todos los periodos, lo que valida la representatividad de esta variable en la sensación térmica percibida de los sujetos.

El análisis de sensación térmica percibida por **temperatura de globo negro** presenta una diferencia del 12% en los valores de TGNn del periodo frío con respecto al cálido (**Tabla 28**); los valores neutrales de la evaluación anual son muy similares al periodo frío, por lo que no es conveniente considerar el uso del modelo anual, ya que subestima la capacidad de adaptación de los sujetos en el periodo cálido.

El valor de TGNn del periodo de transición se podría considerar como la media entre los valores de TGNn del frío y el cálido, sin embargo, los rangos de confort térmico tanto el reducido ( $\pm 1\sigma$ ) como el extenso ( $\pm 2\sigma$ ) son 43% y 39% menores respectivamente con respecto a los del periodo frío. El periodo frío es el que presenta los rangos de confort térmico mayores, lo anterior se debe a las ganancias de calor que puede aportar la radiación a los sujetos en esta temporada; lo opuesto sucede en el periodo cálido, que presenta los rangos de confort térmico menores por el mismo fenómeno antes mencionado.

La tendencia de todas las líneas de regresión media es negativa, lo que indica que la temperatura de globo negro tiene afectación en la sensación térmica de calor, es decir, conforme aumenta la TGN también incrementa la sensación de calor en los sujetos.

Al igual que en el análisis de sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo, el de temperatura de globo negro presenta coeficientes de determinación ( $R^2$ ) mayores a 0.75 en todos los periodos, lo que valida la representatividad de esta variable en la sensación térmica percibida de los sujetos.

El análisis de sensación térmica por **velocidad de viento** indica que los sujetos tienen una preferencia de velocidades no perceptibles en la mayor parte del año, lo anterior es lógico para un clima templado; ya que el viento favorece el enfriamiento convectivo y aumenta la percepción de frío. El periodo cálido presenta el valor mayor en el límite superior de la zona de confort por velocidad de viento ( $+2\sigma$ ) éste es de 0.25m/s lo cual, el ser humano percibe como una brisa ligera (Mondelo, 2001).

La velocidad de viento media registrada durante el trabajo de campo es de 0.06m/s, lo cual confirma que los sujetos no están adaptados a velocidades perceptibles; esto se debe a que por cuestiones de seguridad la mayoría de los sujetos mantienen, tanto las ventanas como las puertas cerradas, salvo en la temporada calurosa que las abren para disipar el calor de las viviendas por medio de ventilación cruzada.

Esta variable no es representativa en la sensación térmica percibida, ya que los tres periodos de estudio presentan un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) menor a 0.5. Por lo anterior la velocidad de viento no será tomada en cuenta en el análisis de sensación térmica por magnitud de variable meteorológica.

En **general** los rangos de confort de todas las variables analizadas en el periodo de transición, fueron menores en comparación con los de los periodos frío y cálido; esto se debe a que son periodos en los que las condiciones climáticas no son estables durante el día (Ver apartado 4.2.3), por lo que la capacidad de adaptación de los sujetos se reduce.

Para el análisis de sensación térmica por magnitud de variable meteorológica, solo se consideran las variables que tengan más de dos valores de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la línea de regresión media, mayores a 0.5 para validar la representatividad de la variable sobre la muestra.

<b>Tabla 28</b> Análisis comparativo por variable y periodo de estudio									
#	Periodo	$-2\sigma$	$-1\sigma$	n	$+1\sigma$	$+2\sigma$	Rango reducido	Rango extenso	$R^2$ (LRM)
Temperatura de bulbo seco (°C)									
387	EVALUACIÓN ANUAL	16.04	18.72	21.39	24.06	26.72	5.35	10.68	0.86
118	FRÍO	17.32	19.67	22.24	24.96	27.87	5.29	10.55	0.98
132	CÁLIDO	17.75	20.78	23.42	25.60	27.25	4.82	9.50	0.48
137	TRANSICIÓN	19.41	21.19	22.91	24.55	26.11	3.36	6.69	0.92
Humedad relativa (%)									
387	EVALUACIÓN ANUAL	22.88	29.69	36.58	43.64	51.25	13.95	28.36	0.67
118	FRÍO	21.06	28.80	36.52	44.17	52.13	15.37	31.08	0.70
132	CÁLIDO	6.34	18.11	29.65	40.74	50.71	22.63	44.37	0.98
137	TRANSICIÓN	27.01	31.88	37.04	42.52	48.36	10.64	21.35	0.81
Temperatura de bulbo húmedo (°C)									
387	EVALUACIÓN ANUAL	10.70	12.73	14.73	16.68	18.50	3.95	7.81	0.91
118	FRÍO	13.47	14.70	15.92	17.15	18.39	2.45	4.92	0.89
132	CÁLIDO	10.33	11.91	13.49	15.07	16.65	3.16	6.32	0.82
137	TRANSICIÓN	13.19	14.49	15.75	16.95	18.04	2.46	4.85	0.76
Temperatura de globo negro (°C)									
387	EVALUACIÓN ANUAL	17.00	20.21	23.42	26.60	29.72	6.39	12.71	0.87
118	FRÍO	16.87	19.60	23.48	26.79	30.12	7.19	13.26	0.98
132	CÁLIDO	23.17	24.99	26.79	28.44	30.99	3.45	7.83	0.78
137	TRANSICIÓN	21.31	23.42	25.47	27.45	29.36	4.03	8.05	0.93
Velocidad de viento (m/s)									
387	EVALUACIÓN ANUAL		0.01	0.06	0.10	0.13	0.08	0.17	0.85
118	FRÍO			0.05	0.09	0.13	0.10	0.16	0.48
132	CÁLIDO	0.00	0.03	0.09	0.19	0.25	0.16	0.25	0.42
137	TRANSICIÓN		0.00	0.04	0.08	0.11	0.08	0.16	0.35

#: No. de observaciones

$\sigma$ : desviación estándar

$R^2$ : Coeficiente de determinación

LRM: línea de regresión media

Fuente: Elaboración propia



## 5.7 SENSACIÓN TÉRMICA POR MAGNITUD DE VARIABLE METEOROLÓGICA

En este apartado se presenta el análisis del efecto de las variables meteorológicas antes analizadas sobre la sensación térmica percibida, para determinar la que afecta mayormente en cada periodo y anualmente. Los valores de la ecuación de la recta determinantes para éste análisis son: la pendiente de la recta ( $m$ ), para determinar la afectación de la variable y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para determinar la representatividad; en el apartado 4.4.2 se explicaron las condicionantes de los valores.

### 5.7.1 Evaluación anual

En el análisis del efecto en la sensación térmica por magnitud de variable meteorológica en evaluación anual la temperatura de bulbo húmedo muestra el valor de la pendiente de la recta más alejado del cero; al ser esta una variable que mide la temperatura del aire con la humedad contenida en el ambiente, es interesante analizar que sucede con la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa (**Tabla 29**).

<b>Tabla 29</b> Valores de las características de la línea de regresión media por variable meteorológica, evaluación anual		
EVALUACIÓN ANUAL		
Variable meteorológica	Características de la LRM	Valores
Temperatura de bulbo seco	Pendiente de la recta	0.426
	Ordenada de origen	-5.107
	$R^2$	0.857
Humedad relativa	Pendiente de la recta	-0.275
	Ordenada de origen	14.093
	$R^2$	0.667
Temperatura de bulbo húmedo	Pendiente de la recta	1.259
	Ordenada de origen	-14.553
	$R^2$	0.911
Temperatura de globo negro	Pendiente de la recta	0.385
	Ordenada de origen	-5.005
	$R^2$	0.870

$R^2$ : Coeficiente de determinación

LRM: Línea de regresión media

Fuente: elaboración propia

En el caso de la temperatura de bulbo seco se observa que la pendiente de la recta es el segundo valor alejado del cero, y el valor negativo de la ordenada de origen indica que la afectación de esta variable en la sensación térmica es hacia calor; el caso de la humedad relativa presenta el valor más cercano a cero, lo cual indica que tiene menor afectación que las demás variables, y su valor positivo en la ordenada de origen indica que es hacia las sensaciones de frío.

Explicado lo anterior, se puede interpretar que el efecto de la temperatura de bulbo húmedo en la sensación térmica percibida anualmente, tiene mayor relación con la temperatura de bulbo seco, debido a la oscilación térmica que se da entre los periodos frío y cálido; ya que en el caso de la humedad relativa, como de observo en los análisis anteriores presenta variaciones menores a 10%, sin embargo, ésta no deja de ser importante.

En conclusión, anualmente la temperatura de bulbo húmedo es la variable con mayor efecto en la sensación térmica, lo anterior lo confirma el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que indica correlación alta en la muestra. Sin embargo, la ordenada de origen es negativa, lo que significa que el efecto en la sensación térmica es hacia calor, por lo que no es conveniente considerar el análisis anual por el efecto que se da durante el periodo frío.

### **5.7.2 Periodo frío**

El análisis del efecto en la sensación térmica por magnitud de variable metrológica en el periodo frío muestra que el valor de la pendiente de la humedad relativa es mayor a la temperatura de bulbo húmedo por solo tres diezmilésimos, lo que se puede generalizar a que ambas variables tienen el mismo efecto en la sensación térmica percibida. Sin embargo, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la temperatura de bulbo húmedo indica correlación alta, mientras que el de la humedad relativa es media (**Tabla 30**).

La temperatura de bulbo húmedo muestra un valor negativo en la ordenada de origen, lo que indica que el efecto de ésta variable en la sensación térmica es hacia calor; lo anterior ocurre por lo explicado en la evaluación anual. En este caso el valor de la pendiente de la recta de la temperatura de bulbo seco es 45% menor que la de TBH, lo que indica que tiene menor efecto sobre la sensación térmica, sin embargo, esta también se da hacia calor.

Contrario a lo antes mencionado, la humedad relativa tiene valor positivo en la ordenada de origen, lo que significa que el efecto de esta variable es hacia la sensación de frío. Lo cual es lógico para el periodo frío en un clima templado, ya que el aumento de la humedad en el ambiente es proporcional al aumento en la sensación de frío (Mondelo, 2001).

En conclusión, no se puede discriminar a ninguna de las dos variables, ya que la temperatura de bulbo húmedo al tener efecto hacia las sensaciones de calor, propicia el confort térmico en este periodo; y por el contrario, el incremento de la humedad relativa favorece la sensación de frío.

<b>Tabla 30</b> Valores de las características de la línea de regresión media por variable meteorológica, periodo frío		
PERIODO FRÍO		
Variable meteorológica	Características de la LRM	Valores
Temperatura de bulbo seco	Pendiente de la recta	0.2051
	Ordenada de origen	-0.56
	R <sup>2</sup>	0.979
Humedad relativa	Pendiente de la recta	-0.3797
	Ordenada de origen	17.865
	R <sup>2</sup>	0.696
Temperatura de bulbo húmedo	Pendiente de la recta	0.3794
	Término independiente	-2.041
	R <sup>2</sup>	0.886
Temperatura de globo negro	Pendiente de la recta	0.192
	Ordenada de origen	-0.5126
	R <sup>2</sup>	0.9781

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

LRM: Línea de regresión media

Fuente: Elaboración propia

### 5.7.3 Periodo cálido

En la **Tabla 31** muestra el análisis del efecto en la sensación térmica por magnitud de variable metrológica del periodo cálido, en el que se observa que la temperatura de globo negro presenta el valor de la pendiente de la recta más alejado del cero, y su correlación es alta, lo que indica que esta variable es la que tiene mayor efecto en la sensación térmica de este periodo; el valor de la ordenada de origen es negativo, lo que significa que la afectación es hacia calor.

Es importante mencionar que en este caso todas las variables presentan valores negativos en la ordenada de origen, lo que significa que todas tienen afectación hacia la sensación de calor en mayor o menor proporción. Esto se debe a las aportaciones de calor que los sujetos experimentan por convección y radiación, y en el caso de la humedad relativa por la afectación en el proceso de pérdida de calor por evaporación (Mondelo, 2001).

En conclusión, todas las variables analizadas en este periodo tienen una afectación representativa en la sensación térmica hacia calor, lo cual es lógico para el periodo de estudio y la adaptación de los sujetos a clima templado; sin embargo, la variable más representativa es la temperatura de globo negro.

<b>Tabla 31</b> Valores de las características de la línea de regresión media por variable meteorológica, periodo cálido		
PERIODO CÁLIDO		
Variable meteorológica	Características de la LRM	Valores
Temperatura de bulbo seco	Pendiente de la recta	0.984
	Ordenada de origen	-19.041
	R <sup>2</sup>	0.477
Humedad relativa	Pendiente de la recta	0.603
	Ordenada de origen	-13.881
	R <sup>2</sup>	0.984
Temperatura de bulbo húmedo	Pendiente de la recta	0.911
	Ordenada de origen	-8.287
	R <sup>2</sup>	0.817
Temperatura de globo negro	Pendiente de la recta	2.076
	Ordenada de origen	-51.610
	R <sup>2</sup>	0.782

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

LRM: Línea de regresión media

Fuente: Elaboración propia

#### 5.7.4 Periodos de transición

El análisis del efecto de la sensación térmica por magnitud de variable metrológica en los periodos de transición, muestra que el valor de la pendiente de la recta más alejado del cero corresponde a la temperatura de bulbo húmedo, la cual tiene correlación alta y el valor de la ordenada de origen es negativo, lo que significa que ésta tiene afectación hacia las sensaciones de calor (**Tabla 32**).

En este caso, se observa el mismo fenómeno que en la evaluación anual. En el cual tiene mayor influencia la temperatura de bulbo seco que la humedad relativa sobre la temperatura de bulbo húmedo. Y como lo muestra la **Tabla 32**, la ordenada de origen de la TBS también es negativa, por lo que el aumento de temperatura es proporcional al incremento en la sensación de calor.

En conclusión, el comportamiento de los periodos de transición es muy similar a lo ocurrido en la evaluación anual, esto se debe a que en estos periodos las condiciones climáticas exteriores tienen variaciones significativas por los cambios estacionales, y por lo tanto afectan las condiciones térmicas al interior.

<b>Tabla 32</b> Valores de las características de la línea de regresión media por variable meteorológica, periodos de transición		
PERIODOS DE TRANSICIÓN		
Variable meteorológica	Características de la LRM	Valores
Temperatura de bulbo seco	Pendiente de la recta	0.635
	Ordenada de origen	-10.548
	R <sup>2</sup>	0.924
Humedad relativa	Pendiente de la recta	-0.236
	Ordenada de origen	12.723
	R <sup>2</sup>	0.810
Temperatura de bulbo húmedo	Pendiente de la recta	1.825
	Ordenada de origen	-24.744
	R <sup>2</sup>	0.759
Temperatura de globo negro	Pendiente de la recta	0.625
	Ordenada de origen	-11.922
	R <sup>2</sup>	0.931

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

LRM: Línea de regresión media

*Fuente: Elaboración propia*

## 6 CONCLUSIONES

Las conclusiones se dividieron en el siguiente orden. Primero se presentan las conclusiones y recomendaciones de la metodología que se aplicó; en la segunda parte se presentan las conclusiones de los resultados obtenidos y se finaliza con las conclusiones generales.

### **Conclusiones y recomendaciones de la metodología aplicada**

Con respecto a la metodología aplicada para el trabajo de campo, se concluye que el cuestionario de sensación térmica fue entendible para los usuarios; sin embargo, es importante considerar adecuar las preguntas al vocabulario común de la región, para facilitar la comprensión de los encuestados.

En cuanto a la muestra estudiada, es conveniente contar con el mínimo de observaciones calculado para en cada periodo de estudio, en tanto las condiciones y el equipo lo permita. En este caso, en algunos periodos no fue posible obtener el mínimo, por las condiciones climáticas y las limitantes del equipo de medición; sin embargo, el estudio no pierde representatividad porque se logró un total de observaciones mayor al calculado.

Las condiciones climáticas que se presentaron durante el trabajo de campo, fueron atípicas en comparación a las normales climatológicas de la región. Sin embargo, no hay manera de prevenir estas situaciones; lo recomendable es seguir los datos horarios del clima que nos proporcionan las estaciones automatizadas (EMAs) y los pronósticos meteorológicos con base a los fenómenos que se presentan en cada temporada.

Previo a realizar las encuestas y mediciones en sitio, es importante realizar una prueba piloto al iniciar cada periodo de estudio, para evitar problemas en campo con el equipo de medición, así como para capacitar a las personas que aplican los cuestionarios de sensación térmica. Es importante mencionar que durante el trabajo de campo, se observó que el sensor de globo negro era sensible durante la transportación de vivienda a vivienda, por lo que se sobre calentaba y el tiempo de estabilización aumentaba. Por lo que se recomienda, transportar el equipo cubierto por algún material aislante y/o reflejante, para sombrear los sensores y evitar el sobrecalentamiento del equipo.

## Conclusiones de los resultados

Para las conclusiones de los resultados es importante recordar las preguntas de investigación planteadas al inicio del trabajo, las cuales fueron las siguientes:

- ¿Cuál es la variable meteorológica con mayor afectación en la percepción térmica en los habitantes?
- Las variables meteorológicas que afectan la percepción térmica, varían por periodo estacional a lo largo del año?
- ¿Cuál es la temperatura local de confort para las viviendas de construcción en serie en la ZMVM?
- ¿Las temperaturas de referencia propuestos en normas mexicanas son los adecuados para el clima específico de la ZMVM?

Con respecto a la primera pregunta de investigación, se puede decir que la variable con mayor influencia en la percepción térmica, es la temperatura de bulbo húmedo, por su persistencia en la evaluación del periodo frío, de transición y anual. La cual se determinó, tiene una tendencia hacia la sensación de calor, lo cual es lógico, ya que a mayor temperatura, mayor sensación de calidez. Sin embargo, no hay que olvidar que los sensores de temperatura de bulbo húmedo, registran la temperatura del aire con la humedad contenida en el ambiente; por lo que es importante mencionar que la humedad relativa, en los periodos antes mencionados tienen una afectación hacia la sensación de frío, lo cual también es lógico, ya que cuando existe humedad en el ambiente en un clima templado, se presenta el efecto de enfriamiento convectivo.

De acuerdo a lo antes mencionado, no se puede afirmar que la sensación térmica de los habitantes dependa únicamente de la temperatura de bulbo húmedo, ya que ésta considera la temperatura del aire, así como la humedad en el ambiente; las cuales tienen magnitudes diferentes y la sensación percibida va a depender de la interacción que se dé entre ellas. Por lo que se concluye que la percepción térmica no solo depende de una variable o de la magnitud de ella, si no de la interacción que se da entre todas ellas.

Con respecto a la segunda pregunta, se afirma que la sensación térmica percibida a lo largo del año, es afectada por diferentes variables meteorológicas. Ya que el análisis demostró que la variable con mayor afectación en el periodo cálido fue la temperatura de globo negro, lo cual difiere a lo mencionado en párrafos anteriores.

Para responder las siguientes dos preguntas, es importante mencionar que una vez revisada la normatividad, se localizó que la única norma que establece una temperatura interior ideal es la *NOM-020-ENER-2011*, la cual contiene un listado de las ciudades representativas de la república mexicana, para las cuales establece: 23 °C para el Distrito Federal, 22 °C para la ciudad de Toluca y 23 °C para Chapingo, Edo. de México.

La temperatura de bulbo seco (temperatura del aire) neutral resultante de la evaluación anual es 21.3 °C, con un rango amplio de confort que va desde los 16.0 °C a los 26.7 °C, por lo que se concluye que la temperatura considerada en la norma antes mencionada, no coincide con la preferida por los habitantes; sin embargo, esta dentro de los rangos aceptables.

Otra de las importantes discusiones en el planteamiento del presente trabajo, fue la aplicación de las formulas obtenidas de diferentes trabajos de investigación en climas fríos a un clima templado como el de la zmvm. A continuación, se presenta un cuadro comparativo de los resultados del trabajo de campo, con las temperaturas neutras obtenidas de la aplicación de fórmulas a las temperaturas medias registradas en cada periodo de estudio (**Tabla 33**).

Por último se concluye, que la temperatura neutra obtenida con la aplicación de la propuesta por Auliciems & Sokolay (1997), coincide con la temperatura preferida por los habitantes. Lo que indica, que a pesar del diferente procedimiento de obtención, es aplicable en el clima templado de la zmvm.

<b>Tabla 33</b> Comparativa de temperaturas neutras y resultados obtenidos						
SITIO	PERIODOS	Tm	HUMPREYS	AULICIEMS	GRIFFITHS	TRABAJO DE CAMPO
ZMVM	Transición	14.39	19.7	22.1	19.8	22.3
	Frío	11.61	18.2	21.2	18.3	21.4
	Cálido	17.52	21.4	23.0	21.5	23.2
	ANUAL	15.12	20.1	22.3	20.2	22.5

*Fuente: Elaboración propia*



## **Conclusiones generales**

Es importante mencionar que los resultados expuestos en este trabajo de investigación, fueron calculados con base en las respuestas de los habitantes de una zona específica, por lo que no se pueden generalizar para cualquier clima templado. Sin embargo, se pueden aplicar como parámetros de diseño para crear un ambiente térmico confortable.

Las conclusiones de los resultados, muestran que la hipótesis planteada es válida, ya que se demostró que la sensación térmica percibida por los sujetos al interior de las viviendas, no solo depende de la temperatura (Capítulo 5.7); es importante conocer la interacción de las variables estudiadas con los fenómenos termo físicos que experimenta el ser humano en un ambiente térmico dado, para entender, que aunque las condiciones climáticas sean favorables, el ser humano puede o no sentirse en confort con su medio circundante.

El presente estudio se realizó con el total de los sujetos de estudio, es decir, no se clasificaron por edad, género, actividad desarrollada o complejidad física. Lo cual, resultaría interesante analizar, con la finalidad de conocer la adaptación al entorno térmico de individuos en específico y enriquecer el área de investigación en confort térmico.

El método de obtención de los valores neutrales por variable meteorológica se basa en los principios del enfoque adaptativo; sin embargo, para efectos de esta investigación, no se contemplaron variables conductuales de adaptación en los individuos. Por lo que se considera necesario, investigaciones nuevas que consideren los factores que han quedado fuera del alcance de este trabajo y que de alguna forma pueden complementarlo.

Ante los resultados obtenidos y las conclusiones expuestas en este trabajo, surgen preguntas de investigación nuevas y recomendaciones que se plantean a continuación:

- ¿La sensación térmica percibida varía por género y edad de los individuos?
- ¿Qué influencia tiene la actividad metabólica desarrollada en la sensación térmica percibida?
- ¿Qué influencia tiene el índice de masa corporal en la sensación térmica percibida?

Los resultados obtenidos del presente trabajo, permiten entender a los diseñadores la afectación que tienen las variables meteorológicas sobre la sensación de bienestar en los usuarios de las viviendas de zmvm. Para los nuevos desarrollos habitacionales y modificaciones a los existentes, es importante que se consideren la temperatura ideal de confort de 21.3 °C, y generar soluciones pasivas que permitan incrementar la temperatura radiante en el invierno, con la tasa mínima de renovación de aire, para evitar pérdidas convectivas. Por el contrario, en primavera evitar las ganancias por radiación y favorecer la ventilación de los espacios. La humedad relativa es conveniente mantenerla entre el 30% y 40% de saturación, por lo que durante el invierno, deberán generarse estrategias de deshumidificación.

El presente trabajo, forma parte del proyecto de investigación “Pautas para el confort ambiental y el desempeño energético de la vivienda urbana” de la Red de Arquitectura Bioclimática, en el cual, la Arq. Abril Rueda Mateos, desarrolló una investigación paralela, de simulación del comportamiento térmico de los materiales en las viviendas, así como propuestas pasivas para mejorar el confort térmico, la cual se titula “Diseño y evaluación de soluciones constructivas en la envolvente, para mejorar el confort térmico al interior de la vivienda social en la Zona Norte del Valle de la Ciudad de México”.

## BIBLIOGRAFÍA

### A

ASHRAE, 2004. *Standard 55 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta GA: American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers.

Asociación Hipotecaria Mexicana, 2010. *Asociación Hipotecaria Mexicana*. [En línea] Available at: <http://www.ahm.org.mx/docs/ahm/CLASIFICACION%20HOMOLOGADA%20DE%20VALOR%20DE%20VIVIENDA.pdf> [Último acceso: 04 02 2014].

Auliciems, A., 1981. *Global differences in indoor thermal requirements..* Brisbane, Australia, Australian & New Zealand Association for the Advancement of Science .

Auliciems, A. & Sokolay, S., 1997. *Thermal Comfort*, s.l.: PLEA NOTES (Passive and Low Energy Architecture International. Design tools and Techniques).

### B

Bojorquez Morales, G., 2010. *Tesis Doctoral, Confort Térmico en espacios Exteriores: Actividades en Espacios Recreativos, en clima Cálido Seco Extremo*. Coquimatlán, Colima: s.n.

Braguer, G. & de Dear, R., 2001. Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standar for ASHRAE Standard 55. *Windsor, Adaptive Comfort*.

### C

CFE, s.f. *Comisión Federal de Electricidad*. [En línea] Available at: [http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas\\_casa.asp?Tarifa=domesticas2003&anio=2014](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=domesticas2003&anio=2014) [Último acceso: 1 Julio 2014].

Chavez del Valle , F., 2002. *Tesis Doctoral: Zona Variable de Confort Térmico*. Barcelona: s.n.

CMIC, C. M. d. I. I. d. I. C., 2012. *Bitácora de Vivienda*. [En línea] Available at: <http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2012/Estadistica/Actualizaciones/07%20Oferta%20registrada%202012%20por%20tipo%20y%20superficie.pdf>

## D

de Dear, R. & Brager, G., 1998. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *Indoor Environmental Quality, Center for the Built Environmental, UC Berkeley*, pp. 145-167.

de Dear, R. & Brager, G., 2002. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, Volumen 34, pp. 549-561.

## E

Escamilla, I. & Santos, C., 2012. *La Zona Metropolitana del Valle de México: transformación urbano-rural en la región centro de México*. Bogotá, s.n.

## F

Fanger, P.O., 2002. Extension of the PMV model to non air conditioned building in warm climates. *Energy and Buildings*. Volumen 34, pp. 533-536.

Fuentes, V., 2004. *Clima y Arquitectura*. Primera ed. México D.F: Universidad Autónoma Metropolitana.

## G

García, E., 1981. *Clasificaciones al sistema de calificación climática de Köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México, D. F: Universidad Nacional Autónoma de México.

Givoni, B., 1998. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. EUA: International Thomson Publishing, Inc.

Givoni, B., 2011. Indoor temperature reduction by passive cooling systems. *Solar Energy*, 85, 1692-1726.

Gomez Azpeitia, G., 2007. *Monitoreo de Condiciones de Confort Térmico, Reporte Técnico CONAFOVI*, Colima: s.n.

Gómez Azpeitia, G. y otros, 2009. *Comfort Temperatures Inside Low-Cost Housing*. Quebec City, Canada, PLEA.

Gómez, A., Bojórquez, G. & Ruiz, P., 2007. El Confort Térmico: Dos Enfoques Teóricos Enfrentados. *Palapa*, pp. 45-57.

Griffiths, I., 1990. *Thermal comfort in buildings with passive solar features: Field studies*., UK: University of Surrey Guildford: Report to the Commission of the European Communities..

Guyton, A., 1977. *Tratado de Fisiología Médica*. México D.F: Nueva Editorial Interamericana S.A de C.V.

## H

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P., 2006. *Metodología de la Investigación*. Cuarta ed. México: McGraw Hill.

Humphreys, M., 1976. Field studies of thermal comfort compared and applied. *J.Inst. Heat & Vent.*, pp. 5-27.

Humphreys, M., Rijal, H. & Nicol, J., 2013. Uddating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and extended database. *Building and Environment*, Volumen 63, pp. 40-55.

## I

INEGI, 2013. *Cuaderno estadístico y geográfico de la zona metropolitana del valle de México 2013*, s.l.: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

International Organization for Standarization, 1995. *International Standard 10551, Ergonomics of thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales..* s.l., International Standards Organization.

International Organization for Standarization, 1998. *International Standard 7726, Ergonomics of the thermal environment – instruments for measuring physical quantities..* s.l., International Standards Organization.

International Organization for Standarization, 2005. *International Standard 7730, Ergonomics of the thermal environment – analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.* s.l., International Standards Organization .

## J

Jiménez, L. V., 2013. *Techo verde en vivienda económica en Mérida, Yucatán como estrategia para condiciones de confort térmico, Tesis de Maestría.* Mérida, Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatan.

## M

Mondelo, P., 2001. *Ergonomía 2. Confort y estrés térmico.* Barcelona: Alfaomega.

Morillón, D., Saldaña, R., Castañeda, I. & Miranda, U., 2002. Atlas Bioclimatico de la Republica Mexicana. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Volumen 10, pp. 57-62.

## N

Nicol, 1993. *Thermal Comfort: a handbook for field studies toward an adaptive model*. 1º ed. London: University of East London.

NMX-AA-164-SCFI-2013, 2013. *Edificación sustentable- Criterios y requerimientos ambientales mínimos*, s.l.: Secretaria de Comercio y Fomento Industrial .

NOM-020-ENER-2011, 2011. *Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional.*, s.l.: s.n.

## O

Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili S.A, p.203.

## P

Pradilla, E., 2000. La regulación del crecimiento territorial de la Zona Metropolitana del Valle de México. *Papeles de Población* , 6(23), pp. 27-44.

## R

Real Academia Española (RAE). Consultado en: <http://www.rae.es/rae.html>.

Rijal, B., 2013. *Field Investigation of Comfort Temperature and Adaptive Model in Japanese Houses*. Munich. Alemania, PLEA, pp. 1-6.

Romero Moreno, R., 2010. *Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima calido seco y húmedo, Reporte técnico*, s.l.: s.n.

Ruiz Torres, R., 2007. *Estándar Local de Confort Térmico para la Ciudad de Colima, Tesis de Maestría*. Coquimatlán, Colima: Universidad de Colima.

## S

Sampieri, R., 2006. *Metodología de la Investigación*. 4th edition ed. México: McGraw-Hill Companies.

Secretaria, d. D. U. d. E. d. M., 2013. *Conjuntos Urbanos Autorizados*. [En línea]

Available at: [http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/informacion\\_de\\_interes/autoriaciones/index.htm](http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/informacion_de_interes/autoriaciones/index.htm)

SiSevive, 2014. *Evaluación de la vivienda verde*, s.l.: SiSevive.

Solanas, T., 2007. *Vivienda y Sostenibilidad*. Barcelona : Gustavo Gili.


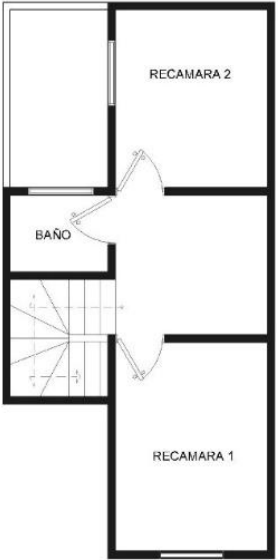
T

Tudela, F. (1991). *Ecodiseño*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Xochimilco.

W

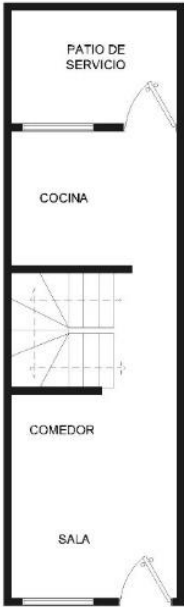
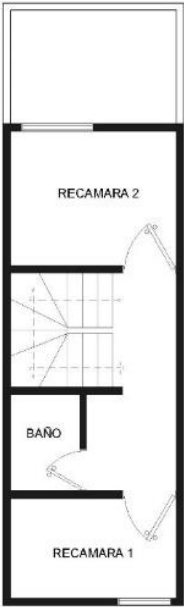
Wang, Z., Zhang, L., Zhao, J. & He, Y., 2010. Thermal Comfort for Naturally Ventilated Residential Buildings in Harbin. *Energy and Buildings*, pp. 2406-2415.


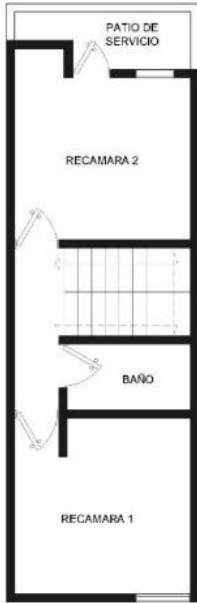
# ANEXO A

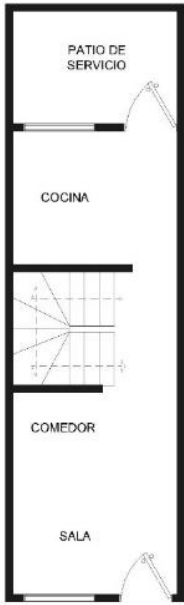
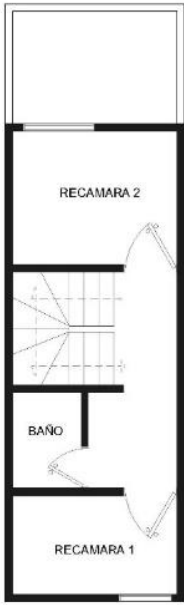
FICHA TÉCNICA- CUAUTITLÁN IZCALLI			
I. UBICACIÓN			
CLIMA	C(w1)(w)b(i')g		
FRACCIONAMIENTO	Cofradía I y II		
NÚMERO DE VIVIENDAS	4,026		
DESARROLLADOR	Consorcio de Ingeniería Integral S.A de C.V		
MUNICIPIO	Cuautitlán Izcalli		
II. DATOS GENERALES DE LA VIVIENDA			
ÁREA DE TERRENO	58 m2		
ÁREA CONSTRUIDA	70 m2		
NÚMERO DE NIVELES	2 niveles		
ORIENTACIONES	SE - NO		
III. CARACTERISTICAS DE LA ENVOLVENTE			
MUROS	mortero cemento arena, acabado fino	ESPESOR	0.015 m
	concreto armado		0.12 m
	mortero cemento arena, acabado fino		0.015 m
LOSA	losa de concreto armado	ESPESOR	0.10 m
	enlucido de yeso pulido		0.01 m
III. CROQUIS DE LA VIVIENDA			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>PLANTA BAJA</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PLANTA ALTA</p> </div> </div>			



FICHA TÉCNICA - TECÁMAC			
I. UBICACIÓN			
CLIMA	C(w1)(w)b(i')g		
FRACCIONAMIENTO	Héroes Tecámac, Cipreses		
NÚMERO DE VIVIENDAS	62,903		
DESARROLLADOR	Desarrollos Inmobiliarios Sadasi S.A de C.V		
MUNICIPIO	Tecámac		
II. DATOS GENERALES DE LA VIVIENDA			
ÁREA DE TERRENO	58 m2		
ÁREA CONSTRUIDA	60 m2		
NÚMERO DE NIVELES	2 niveles		
ORIENTACIONES	SE -NO, NO - SE		
III. CARACTERISTICAS DE LA ENVOLVENTE			
MUROS	mortero cemento arena, acabado fino	ESPESOR	0.015 m
	concreto armado		0.12 m
	mortero cemento arena, acabado fino		0.015 m
LOSA	losa de concreto armado	ESPESOR	0.10 m
	enlucido de yeso pulido		0.01 m
III. CROQUIS DE LA VIVIENDA			
PLANTA BAJA		PLANTA ALTA	







FICHA TÉCNICA – TULTITLAN			
I. UBICACIÓN			
CLIMA	C(w1)(w)b(i')g		
FRACCIONAMIENTO	Portal San Pablo		
NÚMERO DE VIVIENDAS	1,556		
DESARROLLADOR	Casa Beta del Centro S.A de C.V		
MUNICIPIO	Tultitlan		
II. DATOS GENERALES DE LA VIVIENDA			
ÁREA DE TERRENO	58 m2		
ÁREA CONSTRUIDA	60 m2		
NÚMERO DE NIVELES	2 niveles		
ORIENTACIONES	SE -NO		
III. CARACTERISTICAS DE LA ENVOLVENTE			
MUROS 1	mortero cemento arena, acabado fino	ESPESOR	0.015 m
	concreto armado		0.12 m
	mortero cemento arena, acabado fino		0.015 m
MUROS 2	block hueco de cemento	ESPESOR	0.10 m
	mortero cemento arena, acabado fino		0.015 m
LOSA	losa de concreto armado	ESPESOR	0.10 m
	enlucido de yeso pulido		0.01 m
III. CROQUIS DE LA VIVIENDA			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>PATIO DE SERVICIO</p> <p>COCINA</p> <p>COMEDOR</p> <p>SALA</p> <p>PLANTA BAJA</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>RECAMARA 2</p> <p>BAÑO</p> <p>RECAMARA 1</p> <p>PLANTA ALTA</p> </div> </div>			

FICHA TÉCNICA – NICOLÁS ROMERO			
I. UBICACIÓN			
CLIMA	C(w1)(w)b(i')g		
FRACCIONAMIENTO	Bulevares del Lago		
NÚMERO DE VIVIENDAS	4,768		
DESARROLLADOR	Inmobiliaria I. H. M S.A de C.V		
MUNICIPIO	Nicolás Romero		
II. DATOS GENERALES DE LA VIVIENDA			
ÁREA DE TERRENO	70 m2		
ÁREA CONSTRUIDA	60 m2		
NÚMERO DE NIVELES	2 niveles		
ORIENTACIONES	SE -NO		
III. CARACTERISTICAS DE LA ENVOLVENTE			
MUROS 1	mortero cemento arena, acabado fino	ESPESOR	0.015 m
	concreto armado		0.12 m
	mortero cemento arena, acabado fino		0.015 m
MUROS 2	block hueco de cemento	ESPESOR	0.10 m
	mortero cemento arena, acabado fino		0.015 m
LOSA	vigueta y bovedilla	ESPESOR	0.15 m
	plafón de yeso pulido		0.015 m
III. CROQUIS DE LA VIVIENDA			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>PLANTA BAJA</b> BULEVARES DEL LAGO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>PLANTA ALTA</b> BULEVARES DEL LAGO</p> </div> </div>			

FICHA TÉCNICA - HUEHUETOCA			
I. UBICACIÓN			
CLIMA	C(w1)(w)b(i')g		
FRACCIONAMIENTO	Santa Teresa I		
NÚMERO DE VIVIENDAS	3,110		
DESARROLLADOR	Casa Beta del Centro S.A de C.V		
MUNICIPIO	Huehuetoca		
II. DATOS GENERALES DE LA VIVIENDA			
ÁREA DE TERRENO	58 m2		
ÁREA CONSTRUIDA	60 m2		
NÚMERO DE NIVELES	2 niveles		
ORIENTACIONES	SE –NO, NO - SE		
III. CARACTERISTICAS DE LA ENVOLVENTE			
MUROS 1	mortero cemento arena, acabado fino	ESPESOR	0.015 m
	concreto armado		0.12 m
	mortero cemento arena, acabado fino		0.015 m
MUROS 2	block hueco de cemento	ESPESOR	0.10 m
	mortero cemento arena, acabado fino		0.015 m
LOSA	losa de concreto armado	ESPESOR	0.10 m
	enlucido de yeso pulido		0.01 m
III. CROQUIS DE LA VIVIENDA			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>PLANTA BAJA</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PLANTA ALTA</p> </div> </div>			

## ANEXO B

Encuesta del proyecto “Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y húmedo” (Bojorquez Morales, 2010)

 <b>CONFORT TÉRMICO Y AHORRO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA ECONÓMICA EN MÉXICO: REGIONES DE CLIMA CÁLIDO SECO Y HÚMEDO</b> <b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, FACULTAD DE ARQUITECTURA.</b>																				
<b>I.- DATOS GENERALES</b>																				
Folio: _____		Clave del encuestador: _____		Fraccionamiento: _____		Domicilio: _____														
		Localidad: _____		Estado: _____																
Nombre de la persona encuestada: _____																				
<b>II.- DATOS TEMPORALES</b>																				
Fecha _____																				
Hora de inicio de la entrevista _____																				
Hora de finalización de la entrevista _____																				
<b>III.- INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA</b>																				
<b>A</b>	<b>Dispositivos de control climático activados en el lugar</b>	1	<input type="checkbox"/>	NINGUNO																
		2	<input type="checkbox"/>	AIRE ACONDICIONADO																
		3	<input type="checkbox"/>	VENTILADOR		3A <input type="checkbox"/> DE TECHO	3B <input type="checkbox"/> PEDESTAL	3C <input type="checkbox"/> OTRO ¿CUAL? _____												
		4	<input type="checkbox"/>	CALEFACCIÓN																
		5	<input type="checkbox"/>	ENFRIADOR EVAPORATIVO																
		6	<input type="checkbox"/>	OTRO ¿CUAL? _____																
<b>IV.- INFORMACIÓN DEL HABITANTE</b>																				
<b>B</b>	<b>Tiempo que lleva dentro de la casa</b>	1		2		3														
		Menos de ½ hora		Más de ½ hora																
<b>C</b>	<b>Actividad desarrollada</b>	Pasiva		Moderada		Intensa														
<b>D</b>	<b>Sexo</b>	Hombre		Mujer																
<b>E</b>	<b>Constitución física</b>	Peso (Kg)		Estatura (Cm)		Edad (Años)														
<b>F</b>	<b>Tipo de vestimenta</b>																			
	1	<input type="checkbox"/>		MUY LIGERA	2	<input type="checkbox"/>		LIGERA	3	<input type="checkbox"/>		NORMAL	4	<input type="checkbox"/>		ABRIGADA	5	<input type="checkbox"/>		MUY ABRIGADA
<b>V.- INFORMACIÓN SOBRE LA PERCEPCIÓN DEL AMBIENTE INTERIOR DE LA VIVIENDA</b>																				
		1	2	3	4	5	6	7												
<b>G</b>	<b>Sensación Térmica</b> ¿Cómo se siente usted en este momento?	Mucho frío	Frío	Algo de frío	Ni calor ni frío	Algo calor	Calor	Mucho calor												
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
<b>H</b>	<b>Sensación de humedad</b> ¿Cómo siente la humedad en su piel en este momento?	Muy húmedo	Húmedo	Algo húmedo	Normal	Algo seco	Seco	Muy seco												
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
<b>I</b>	<b>Sensación de ventilación</b> ¿Cómo siente la ventilación en este momento?	Mucha ventilación	Mediana ventilación	Ligera ventilación	Ninguna ventilación															
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>															
<b>J</b>	<b>Sensación nocturna</b> ¿Cómo se sintió esta noche, mientras dormía?	Mucho frío	Frío	Algo de frío	Ni calor ni frío	Algo calor	Calor	Mucho calor												
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
<b>K</b>	<b>Preferencias de temperatura</b> ¿Cómo preferiría usted estar/sentirse en este momento?	Mucho más fresco	Más fresco	Un poco más fresco	Sin cambio	Con un poco más de calor	Con más calor	Mucho más caluroso												
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
<b>L</b>	<b>Preferencias de ventilación</b> ¿Qué preferiría en este momento con respecto a la ventilación?	Preferiría mas ventilación	Sin cambio	Preferiría menos ventilación																
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																
<b>M</b>	<b>Aceptación personal ambiente</b> ¿Cómo considera el clima dentro de su vivienda?	Generalmente Aceptable	Generalmente Inaceptable																	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
<b>N</b>	<b>Tolerancia Personal</b> ¿Qué tan tolerable le parece el clima en este momento dentro de su vivienda?	Perfectamente Tolerable	Tolerable	Ligeramente Intolerable	Intolerable	Extremadamente Intolerable														
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
<b>VI.- DATOS DE MONITOREO FÍSICO</b>																				
Temperatura bulbo seco (°C) (BS)		Temperatura bulbo húmedo (°C) (BH)		Temperatura de globo negro (radiación) (°C) (GLOBO)		Humedad Relativa (%) (HR)		Velocidad de viento (m/s) (FLUJO)												

## ANEXO C

### MANUAL DE APLICACIÓN DE ENCUESTA

1.- La encuesta se debe realizar en las temporadas climáticas seleccionadas, preferentemente en horarios entre las 8:00 y las 19:00 horas. Es importante que las encuestas se realicen por la mañana y tarde en una proporción similar, para evitar que se concentre información sólo de alguno de los dos horarios: matutino o vespertino.

2.- En cada vivienda a estudiar se podrá realizar más de una entrevista, de acuerdo con las personas que en ese momento se encuentren ahí y que acepten participar, siempre y cuando sean mayores de 15 años.

3.- Saludar amablemente a los encuestados.

4.- Deben llevar el equipo necesario para levantar la encuesta y registrar los datos climáticos:

- Monitor de estrés térmico con trípode.
- Anemómetro de hilo caliente. Se debe ser cuidadoso en dirigir el sensor de manera frontal al viento.
- Una báscula de piso portátil.
- Una cinta métrica o flexómetro.
- Un reloj digital.
- Utensilios auxiliares como lápiz, borrador y tabla de apoyo.
- Número suficiente de encuestas impresas.

5.- Se debe mencionar el objetivo de las encuestas: *Evaluar si la vivienda que se están construyendo en la Zona Metropolitana del Valle de México, reúne las condiciones de una vivienda digna para los habitantes, y de manera específica si propicia el confort térmico de sus ocupantes, todo ello para poder hacer propuestas que mejoren el diseño de dichas viviendas.*

6.- Se debe mencionar que es una investigación para el posgrado de Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Azcapotzalco.

7.- Hay que verificar antes de aplicar la encuesta si la familia ya pasó por lo menos un verano en esa vivienda. Solo si contesta que sí, entonces se aplica la encuesta.

8.- Es importante preguntar el estado de salud de los individuos a encuestar, saber si se tiene una enfermedad crónica, o resfriado; en caso de que así fuera su respuesta, podría afectar los resultados, por lo tanto no se debe aplicar la encuesta a la persona.

9.- Se debe mencionar que se deberá hacer mediciones de parámetros climáticos dentro de la vivienda, y explicar el funcionamiento del equipo de medición.

10.- El área donde siempre se colocará el equipo de medición será la sala o el espacio inmediato a la entrada de la vivienda. El equipo deberá instalarse al centro del espacio, entre 0.8m y 1.2m de distancia de las personas a encuestar, para evitar que la radiación de las personas afecten los sensores.

11.- Al momento de aplicar la encuesta los individuos deben estar sentados, de ser posible sobre una silla ligera, no sobre un sillón grueso, ya que cambiaría su sensación de confort térmico, por la masa del mueble.

12.- Mientras se estabiliza el equipo de mediciones, se llenará la encuesta dejando para el final las preguntas correspondientes a la Información sobre la percepción del ambiente interior de la vivienda. Se aprovechará el mismo tiempo para pesar y medir a las personas.

13.- La duración aproximada de la aplicación de la encuesta es de 10 a 15 minutos promedio.

14.- Además de las respuestas de la encuesta, se deben anotar en el sitio correspondiente los parámetros climáticos que marcan los instrumentos de medición en el momento de la entrevista: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo (medida bajo condiciones de ventilación natural del espacio), temperatura de globo, humedad relativa y velocidad de viento.

11.- Finalmente se debe agradecer la información proporcionada y despedirse amablemente de los encuestados.

## **ESTRUCTURA DE LA ENCUESTA**

La encuesta se divide en seis grupos:

- I. Datos de encuesta.
- II. Datos temporales.
- III. Información de la vivienda.
- IV. Información del habitante.
- V. Información sobre la percepción del ambiente interior de la vivienda
- VI. Datos de monitoreo físico.

A continuación se explica cada grupo, con información por columnas, donde se indica un número y su concepto, y se señala enseguida si es un indicador (I) o una variable (V), según el caso, con una breve explicación de ella, y la última columna indica si la información se obtiene en campo (C) o se llena en gabinete (G).

En el caso de ser un indicador, es solo para registro y control, en caso de ser variable, permite procesarla estadísticamente y cruzarla con cualquier otra variable o bien en combinación de otras variables. Cuando es una variable se le ha asignado una letra en la primera columna. Con excepción del grupo I, todos los demás contienen únicamente variables.

Las respuestas a las preguntas cerradas deberán consignarse tachando o llenando los cuadritos correspondientes. Las respuestas a las preguntas abiertas se deben escribir en los espacios correspondientes con letra de molde clara y legible. Los datos correspondientes a los parámetros climáticos deben escribirse tal como aparecen en las pantallas de los equipos utilizados.

- I. **Datos de encuesta:** Este grupo contiene datos generales de identificación de la encuesta, del usuario, y la ubicación de la vivienda.

Letra	CONCEPTO	I	V	DESCRIPCIÓN	C	G
-	Estado y Localidad	x		Con fines de ubicación geográfica previamente obtenidos.		x
-	Folio	x		Es un número progresivo con la finalidad de tener en orden las encuestas realizadas. En el cálculo del tamaño de la muestra ya se consideró cual es el límite permisible.		x
-	Fraccionamiento		x	Nombre completo del Fraccionamiento. Es para conocer la ubicación del lugar donde se realizó el levantamiento.		x
-	Clave encuestador	x		Son las iniciales de cada encuestador y tiene como finalidad conocer quien realizó el levantamiento de información.		x
-	Nombre de la persona encuestada	x		Nombre completo de la persona a la que se le aplicara la encuesta. Puede dar su nombre completo o algún alias con el cual se le distinga en el estudio.	x	

- II. **Datos temporales:** Este grupo contiene datos generales para la identificación de periodo y horario de la encuesta.

Letra	CONCEPTO	I	V	DESCRIPCIÓN	C	G
-	Fecha	x		Fecha en que se va realizó la encuesta.		x
-	Hora de inicio y término de la entrevista	x		Para identificas la hora en que se realizó la encuesta. La hora deberá escribirse en formato de 24 horas. Por ejemplo: 16:30 en vez de 4:30	x	



- III. **Información de la vivienda:** En este apartado se identificarán los equipos de climatización pasiva, activa y natural empleados al interior de la vivienda.

Letra	CONCEPTO	I	V	DESCRIPCIÓN	C	G
A	Dispositivos de control climático activos en el lugar		x	Los dispositivos comunes de encontrar en las viviendas son: <i>Aire acondicionado</i> <i>Ventilados</i> <i>Calefacción</i> <i>Enfriador evaporativo (cooler)</i> En caso de que exista uno diferente especificar la opción “Otro” y cual es. En el caso de ventilador, se deberá especificar si es de techo, pedestal u otro.	x	
B	Ventilación natural		x	Se deberá preguntar y verificar si cuentan con alguna ventana o puerta abierta para ventilar el espacio naturalmente.	x	
C	Dispositivo de control climático pasivo		x	Verificar si cuentan con algún dispositivo en ventanas como: Persianas, parte soles, aleros u otros.	x	

- IV. **Información del habitante:** Este grupo contiene datos para la identificación de características generales del usuario y su vestimenta al momento de la encuesta.

Letra	CONCEPTO	I	V	DESCRIPCIÓN	C	G
D	Tiempo que lleva dentro de la vivienda		x	Permite conocer si el sujeto ha estado fuera o dentro de la vivienda. Y una referencia aproximada de cuánto tiempo con dos opciones: más de media hora o menos de media hora.	x	
E	Actividad desarrollada		x	Se deberá preguntar qué actividad estaba desarrollando inmediatamente antes de la entrevista y se deberá clasificar en los siguientes criterios: <i>Pasiva:</i> Recostado o sentado, leyendo, viendo la televisión o similar. <i>Moderada:</i> De pie o sentado realizando tareas ligeras que le obligan a desplazarse a cortas distancias dentro de la vivienda de forma esporádica como cocinar o lavar trastes. <i>Intensa:</i> Actividades que requieran esfuerzo físico mayor como trapear, barrer, lavar, correr, etc.	x	
F	Sexo		x	A partir de este dato se podrán conocer las	x	

				diferencias de la preferencia térmica de acuerdo al sexo y calcular el metabolismo basal. Se cuentan con dos opciones: femenino y masculino.		
G	Constitución física		x	Permite conocer la constitución física del sujeto encuestado y calcular en gabinete el índice de masa corporal (IMC) y el metabolismo basal. Los datos solicitados serán: <i>Peso</i> : se deberá pesar al sujeto en la báscula portátil y registrar en Kilogramos hasta con un decimal. <i>Estatura</i> : Se deberá medir al sujeto contra y registrar en centímetros. <i>Edad</i> : se debe registrar en años cumplidos.	x	
H	Tipo de vestimenta		x	Se clasifica de la siguiente manera: <i>Muy ligera</i> : pantalón corto y playera. <i>Ligera</i> : Camisa de manga corta y pantalones de tela ligera. <i>Normal</i> : Camisa de manga larga y pantalones de tela gruesa. <i>Abrigada</i> : Camisa de manga larga, saco/ sweater/ chamarra y pantalones de tela gruesa. <i>Muy abrigada</i> : Camisa de manga largo, pantalones de tela gruesa con abrigo, guantes y gorro o sombrero.	x	

- V. **Información sobre la percepción del ambiente interior de la vivienda:** Este grupo contiene datos para la identificación de la sensación, preferencia y tolerancia de los sujetos con respecto de tres parámetros climáticos: temperatura, humedad y ventilación. Es muy importante mencionarle a la persona encuestada que sus respuestas deben ser razonadas. Que debe tomar su tiempo para dar una respuesta meditada, con base a las sensaciones del momento o las que ha experimentado previamente, de acuerdo al sentido de la pregunta.

Letra	CONCEPTO	I	V	DESCRIPCIÓN	C	G
I	Sensación térmica		x	La pregunta es: ¿Cómo se siente usted en este momento? La descripción de cada respuesta es la siguiente: <i>Mucho calor</i> : Calor severo. Incomodidad extrema, nada puede refrescarlo, sudoración abundante, no tolera la ropa. No puede trabajar. <i>Calor</i> : Incomodidad permanente pero controlable. Le incomoda la ropa usual y reduce sus actividades. <i>Algo de calor</i> : Calor ligero, incomodidad ocasional. Sensación de bochorno y presencia de ser, pero no	x	

				<p>impide las actividades normales.</p> <p><i>Ni frío ni calor:</i> Sensación no identificable, no siente ningún mecanismo fisiológico de termorregulación (sudor, tiritar, etc.). La temperatura pasa desapercibida.</p> <p><i>Algo de frío:</i> Levemente frío, incomodidad ocasional que puede ser resuelta con exposición directa al sol o alguna prenda ligera adicional.</p> <p><i>Frío:</i> Incomodidad permanente. Ocasionalmente tiritar y se eriza la piel. Requiere de abrigo o bebidas calientes.</p> <p><i>Mucho frío:</i> Frío severo. Incomodidad extrema. Percibe dolor al respirar y las extremidades. Además de abrigo requiere gorro, bufanda y guantes.</p>		
J	Sensación de humedad (superficial en la piel)		x	<p>La pregunta es ¿Cómo siente la humedad en su piel en este momento? La descripción de cada respuesta es la siguiente:</p> <p><i>Muy húmedo:</i> Goteo de sudor. Siente incomodidad permanente. El sudor escurre y moja la ropa. Humedece los objetos que manipula con las manos y se siente sofocado al respirar.</p> <p><i>Húmedo:</i> Siente levemente húmeda la piel con una sensación refrescante con el viento. Ocasionalmente aparecen perlas de sudor. Incomodidad ocasional.</p> <p><i>Algo húmedo:</i> Levemente húmedo. Siente incomodidad en la piel por la humedad pero la piel aun continua seca.</p> <p><i>Normal:</i> Neutral. No percibe ningún tipo de incomodidad respecto a la humedad. Ni sequedad ni humedad excesiva. No distingue la sensación de incomodidad ocasional.</p> <p><i>Algo seco:</i> Siente una ligera sensación de sequedad en la piel en mayor medida alrededor de las comisuras de la boca.</p> <p><i>Seco:</i> Siente la piel reseca. Sobre todo alrededor de las comisuras de la boca.</p> <p><i>Muy seco:</i> Irritante. Incomodidad permanente. Siente el aire muy seco y se resecan las mucosas de la nariz y garganta.</p>	x	
K	Sensación de ventilación		x	<p>La pregunta es: ¿Cómo siente la ventilación en este momento? La descripción de cada respuesta es la siguiente:</p> <p><i>Mucha ventilación:</i> El movimiento de aire es muy fuerte. Causa bastante incomodidad. Impide realizar</p>	x	

				<p>actividades sedentarias.</p> <p><i>Mediana ventilación:</i> Siente el movimiento de aire con intensidad. Ocasionalmente vuelan las hojas de papel u objetos ligeros. Causa cierta incomodidad.</p> <p><i>Ligera ventilación:</i> Siente movimiento de aire ligero que pasa sobre la piel. No causa ninguna incomodidad.</p> <p><i>Ninguna ventilación:</i> No siente ningún movimiento de aire. Percibe cierta incomodidad (ligero sofocamiento) El aire se siente pesado.</p>		
L	Sensación nocturna (térmica)		x	<p>La pregunta es: ¿Cómo se sintió la noche anterior mientras dormía? La descripción de cada respuesta es la siguiente:</p> <p><i>Mucho calor:</i> Calor severo. Incomodidad extrema, nada puede refrescarlo. No toleraba la pijama aunque fuera ligera. No podía descansar.</p> <p><i>Calor:</i> Incomodidad permanente pero controlable. Le incomoda la pijama y su descanso fue intermitente.</p> <p><i>Algo de calor:</i> Calor ligero, incomodidad ocasional. Sensación de bochorno y presencia de ser, sin embargo no impidió descansar durante la noche.</p> <p><i>Ni frío ni calor:</i> Sensación no identificable, no siente ningún mecanismo fisiológico de termorregulación (sudor, tiritar, etc.). La temperatura pasa desapercibida.</p> <p><i>Algo de frío:</i> Levemente frío, incomodidad ocasional que pudo ser resuelta alguna prenda ligera adicional.</p> <p><i>Frío:</i> Incomodidad permanente. Ocasionalmente tiritar y se eriza la piel. Requiere mantas adicionales o bebidas calientes.</p> <p><i>Mucho frío:</i> Frío severo. Incomodidad extrema. Percibe dolor al respirar y las extremidades. Además de mantas adicionales requirió gorro, bufanda y guantes.</p>	x	
M	Preferencia térmica (temperatura del aire)		x	<p>La pregunta es: ¿Cómo preferiría usted estar o sentirse en este momento? Las posibles respuestas son:</p> <p><i>Mucho más fresco</i></p> <p><i>Más fresco</i></p> <p><i>Un poco más fresco</i></p> <p><i>Sin cambio</i></p> <p><i>Un poco más cálido</i></p> <p><i>Más cálido</i></p> <p><i>Mucho más cálido</i></p>	x	

N	Preferencia de ventilación		x	La pregunta es: ¿Qué preferiría en este momento con respecto a la ventilación? Las posibles respuestas son: <i>Preferiría más ventilación</i> <i>Sin cambio</i> <i>Preferiría menos ventilación</i>		x
O	Aceptación personal del ambiente		x	La pregunta es: ¿Cómo considera el clima dentro de su vivienda? Las posibles respuestas son: <i>Generalmente aceptable</i> <i>Generalmente inaceptable</i>		x
P	Tolerancia personal		x	La pregunta es: ¿Qué tan tolerable le parece el clima en este momento dentro de su vivienda? O ¿Qué tanto le afecta el clima dentro de su vivienda para el desarrollo de sus actividades? Las posibles respuestas son: <i>Perfectamente tolerable</i> : No tengo ninguna molestia por efecto del clima <i>Tolerable</i> : Tengo algunas molestias pero no me impiden desarrollar mis actividades normalmente. <i>Ligeramente intolerable</i> : Tengo molestias por efecto del clima pero logro desarrollar mis actividades de manera casi normal. <i>Intolerable</i> : Tengo tantas molestias debido al clima que no logro desarrollar mis actividades adecuadamente. <i>Extremadamente intolerable</i> : El clima me causa tantas molestias que me impide por completo realizar mis actividades.		x

VI. **Datos de monitoreo físico:** En este grupo se colocarán los datos registrados con el equipo de medición.

Letra	CONCEPTO	I	V	DESCRIPCIÓN	C	G
-	Datos de monitoreo físico		x	Se deberán anotar los parámetros medidos: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de globo negro, humedad relativa y velocidad de viento. La medición se debe tomar al concluir la encuesta o 10 minutos después de haber instalado el quipo.		x

## ÍNDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT .....	4
INTRODUCCIÓN .....	4
1    PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	7
1.2    PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	9
1.3    HIPÓTESIS .....	10
1.4    OBJETIVO.....	10
1.5    ALCANCES Y LIMITACIONES .....	10
1.6    METAS .....	11
2    ANTECEDENTES.....	12
2.1    ESTADO DEL ARTE .....	12
2.2    CASOS ANÁLOGOS .....	14
3    MARCO TEÓRICO .....	18
3.1    CIUDAD Y VIVIENDA.....	18
3.2    CLIMA DE ZMVM .....	21
3.3    CONFORT TÉRMICO .....	27
3.3.1    Enfoque Predictivo .....	28
3.3.2    Enfoque Adaptativo .....	32
3.4    PERCEPCIÓN TÉRMICA .....	35
3.5    NORMATIVA .....	41
4    METODOLOGÍA .....	45
4.1    CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN .....	46
4.1.1    Enfoque de Estudio .....	46
4.1.2    Diseño de investigación.....	47
4.1.3    Variables e Instrumentos .....	49
4.2    CASO DE ESTUDIO.....	56
4.2.1    Diagnostico Urbano .....	57

4.2.2	Diagnostico Climático .....	58
4.2.3	Selección de caso de estudio .....	65
4.3	ESTUDIO CORRELACIONAL .....	70
4.3.1	Diseño de encuesta .....	70
4.3.1	Trabajo de campo.....	73
4.4	ANÁLISIS DE DATOS .....	77
4.4.1	Medias por Intervalo de Sensación Térmica (MIST) .....	77
4.4.2	Magnitud por variable meteorológica .....	82
5	RESULTADOS.....	84
5.1	SENSACIÓN TÉRMICA POR TEMPERATURA DE BULBO SECO .....	84
5.1.1	Evaluación anual .....	84
5.1.1	Periodo Frío.....	86
5.1.2	Periodo cálido.....	88
5.1.3	Periodos de transición .....	89
5.2	SENSACIÓN TÉRMICA POR HUMEDAD RELATIVA .....	91
5.2.1	Evaluación anual .....	91
5.2.2	Periodo frío .....	93
5.2.3	Periodo cálido.....	94
5.2.4	Periodos de transición .....	96
5.3	SENSACIÓN TÉRMICA POR TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO .....	97
5.3.1	Evaluación anual .....	98
5.3.1	Periodo frío .....	99
5.3.2	Periodo cálido.....	101
5.3.3	Periodos de transición .....	102
5.4	SENSACIÓN TÉRMICA POR TEMPERATURA DE GLOBO NEGRO .....	103
5.4.1	Evaluación anual .....	104
5.4.2	Periodo frío .....	105
5.4.3	Periodo cálido.....	107
5.4.4	Periodos de transición .....	108
5.5	SENSACIÓN TÉRMICA POR VELOCIDAD DE VIENTO.....	109
5.5.1	Evaluación anual .....	110
5.5.2	Periodo frío .....	111
5.5.3	Periodo cálido.....	113

5.5.4	Periodos de transición .....	114
5.6	ANÁLISIS COMPARATIVO .....	116
5.7	SENSACIÓN TÉRMICA POR MAGNITUD DE VARIABLE METEOROLÓGICA .....	121
5.7.1	Evaluación anual .....	121
5.7.2	Periodo frío .....	122
5.7.3	Periodo cálido .....	123
5.7.4	Periodos de transición .....	124
6	CONCLUSIONES .....	126
	BIBLIOGRAFÍA.....	131
	ANEXO A.....	136
	ANEXO B.....	141
	ANEXO C.....	142





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Imagen urbana del Municipio de Tecámac .....	8
<b>Figura 2</b> Distribución del crecimiento urbano de la ZMVM.....	19
<b>Figura 3</b> Situación actual en Huehuetoca Edo. México .....	21
<b>Figura 4</b> Clima de la zmvm Köppen – García .....	23
<b>Figura 6</b> Relación de factores que afectan la sensación térmica percibida.....	36
<b>Figura 7</b> Esquema metodológico.....	45
<b>Figura 8</b> Esquema de las características de la investigación.....	46
<b>Figura 9</b> Monitor de estrés térmico.....	52
<b>Figura 10</b> Anemómetro de hilo caliente y registrador de datos.....	53
<b>Figura 11</b> Vistas del flexómetro .....	55
<b>Figura 12</b> Vistas de báscula portátil .....	56
<b>Figura 13</b> Esquema de la selección de caso de estudio.....	57
<b>Figura 14</b> Definición de periodos de estudio .....	60
<b>Figura 15</b> Ubicación de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs).....	61
<b>Figura 16</b> Temperatura del aire y humedad relativa diaria, periodo de Transición 1.....	62
<b>Figura 17</b> Temperatura del aire y humedad relativa diaria, periodo Frío.....	63
<b>Figura 18</b> Temperatura del aire y humedad relativa diaria, periodo de Transición 2.....	64
<b>Figura 19</b> Temperatura del aire y humedad relativa diaria, periodo Cálido.....	65
<b>Figura 20</b> Tipología de vivienda por desarrollo.....	67
<b>Figura 21</b> Ubicación de los municipios y desarrollos habitacionales dentro de la ZMVM.....	68
<b>Figura 22</b> Esquema del estudio correlacional.....	70
<b>Figura 23</b> Cuestionario para evaluación de confort térmico en vivienda .....	74
<b>Figura 24</b> Trabajo de campo .....	75
<b>Figura 25</b> Esquema del análisis de datos.....	77
<b>Figura 26</b> Ejemplo de la obtención del valor de la media y desviación estándar para cada grupo de sensación térmica .....	79
<b>Figura 27</b> Ejemplo de obtención de valores neutrales .....	80
<b>Figura 28</b> Explicación para lectura de gráficos .....	81
<b>Figura 29</b> Sensación térmica por temperatura de bulbo seco (TBS) evaluación anual.....	85
<b>Figura 30</b> Sensación térmica por temperatura de bulbo seco (TBS) en periodo frío.....	87
<b>Figura 31</b> Sensación térmica por temperatura de bulbo seco (TBS) en periodo cálido.....	89

<b>Figura 32</b>	Sensación térmica por temperatura de bulbo seco (TBS) en periodos de transición	90
<b>Figura 33</b>	Sensación térmica por humedad relativa (HR) evaluación anual.....	92
<b>Figura 34</b>	Sensación térmica por humedad relativa (HR) en periodo frío .....	94
<b>Figura 35</b>	Sensación térmica por humedad relativa (HR) en periodo cálido .....	95
<b>Figura 36</b>	Sensación térmica por humedad relativa (HR) en periodos de transición.....	97
<b>Figura 37</b>	Sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo (TBH) evaluación anual .....	98
<b>Figura 38</b>	Sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo (TBH) en periodo frío .....	100
<b>Figura 39</b>	Sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo (TBH) en periodo cálido ....	101
<b>Figura 40</b>	Sensación térmica por temperatura de bulbo húmedo (TBH) en periodos de transición .....	103
<b>Figura 41</b>	Sensación térmica por temperatura de globo negro (TGN) evaluación anual.....	104
<b>Figura 42</b>	Sensación térmica por temperatura de globo negro (TGN) en periodo frío.....	106
<b>Figura 43</b>	Sensación térmica por temperatura de globo negro (TGN) en periodo cálido .....	107
<b>Figura 44</b>	Sensación térmica por temperatura de globo negro (TGN) en periodos de transición .....	109
<b>Figura 45</b>	Sensación térmica por velocidad de viento (VV) evaluación anual.....	110
<b>Figura 46</b>	Sensación térmica por velocidad de viento (VV) en periodo frío.....	112
<b>Figura 47</b>	Sensación térmica por velocidad de viento (VV) en periodo cálido.....	113
<b>Figura 48</b>	Sensación térmica por velocidad de viento (VV) en periodos transición .....	115



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Revisión bibliográfica.....	12
<b>Tabla 2</b> Periodos de estudio por ciudad y clima.....	17
<b>Tabla 3</b> Número de viviendas construidas en 10 años por municipio.....	20
<b>Tabla 4</b> Superficie por tipo de clima.....	23
<b>Tabla 5</b> Definiciones de confort y confort térmico .....	27
<b>Tabla 6</b> Escala de sensación térmica de Bedford .....	30
<b>Tabla 7</b> Modelos de predicción .....	31
<b>Tabla 8</b> Modelos de adaptación.....	33
<b>Tabla 9</b> Factores físicos del entorno que afectan la sensación térmica percibida. ....	37
<b>Tabla 10</b> Factores que intervienen en el balance térmico .....	37
<b>Tabla 11</b> Factores psicofisiológicos que afectan la sensación térmica percibida .....	38
<b>Tabla 12</b> Actividad metabólica en met y $W/m^2$ .....	39
<b>Tabla 13</b> Factores socioculturales que afectan la sensación térmica percibida .....	40
<b>Tabla 14</b> Aislamiento de vestimenta típica por género en clima templado .....	41
<b>Tabla 15</b> Normatividad .....	43
<b>Tabla 16</b> Análisis comparativo los enfoques de estudio de confort térmico y necesidades del estudio.....	47
<b>Tabla 17</b> Diseño de investigación no experimental .....	48
<b>Tabla 18</b> Variables a medir e instrumentos.....	50
<b>Tabla 19</b> Especificaciones técnicas y consideraciones del monitor de estrés térmico .....	51
<b>Tabla 20</b> Especificaciones técnicas y consideraciones del anemómetro de hilo caliente con registrador de datos.....	54
<b>Tabla 21</b> Especificaciones técnicas y consideraciones de la báscula portátil y flexómetro .....	55
<b>Tabla 22</b> Porcentaje de crecimiento y número de viviendas construidas por municipio .....	58
<b>Tabla 23</b> Temperatura mínima, media y máxima anual por municipio .....	59
<b>Tabla 24</b> Características de las viviendas por desarrollo y municipio .....	66
<b>Tabla 25</b> Tipo de muestra.....	69
<b>Tabla 26</b> Población por municipio para cálculo de muestra .....	69
<b>Tabla 27</b> Escala de sensación térmica percibida .....	79
<b>Tabla 28</b> Análisis comparativo por variable y periodo de estudio.....	120

<b>Tabla 29</b> Valores de las características de la línea de regresión media por variable meteorológica, evaluación anual.....	121
<b>Tabla 30</b> Valores de las características de la línea de regresión media por variable meteorológica, periodo frío .....	123
<b>Tabla 31</b> Valores de las características de la línea de regresión media por variable meteorológica, periodo cálido .....	124
<b>Tabla 32</b> Valores de las características de la línea de regresión media por variable meteorológica, periodos de transición.....	125
<b>Tabla 33</b> Comparativa de temperaturas neutras y resultados obtenidos.....	128